:: Erkenntnistheoretische Grundlagen :: des Prinzips der Erhaltung der Energie.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät der Universität Leipzig

vorgelegt von

Jonas Borak.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

Halle a. d. S.
Buchdruckerei von Heinrich John.
1915.

Angenommen von der philosophisch-historischen Sektion auf Grund der Gutachten der Herren

Barth und Hölder.

Leipzig, den 22. Januar 1915.

Der Procancellar:
Zimmern.

Meinen Eltern
in tiefer Dankbarkeit.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546818_0082

Inhaltsangabe.

Seite

I. Teil: Erkenntnisphilosophische Grundlegung.

I. Abschnitt: Vom Wesen des Erkenntnisproblems der Naturwissenschaft 9

1. Gegensatz von Wahrnehmung und Denken.
2. Die Physik, eine Mathematisierung des Sinnlichen.

II. Abschnitt: Die Hauptinstanzen der naturwissenschaftlichen Erkenntnis 16

1. Prinzip des zu vermeidenden Widerspruchs (das logische Prinzip).
2. Prinzip der fortschreitenden Identität (das mathematische Prinzip).
   a) Ableitung und Charakteristik des Gesetzlichkeitsbegriffs (Kategorien).
3. Prinzip der anzeigenden Wahrnehmung (das empirische Prinzip).
   a) die Zeit.
   b) der Raum.

II. Teil: Naturphilosophische Durchführung.

III. Abschnitt: Die Objektivierung der Wahrnehmungsinhalte der Physik.

A. Die Mechanik 41

1. Erkenntnistheoretische Betrachtungen.
   a) Ding und Vorstellung.
   b) Das Begriffspaar: objektiv und subjektiv.

c) Gültigkeit und empirisch-objektive Tatsächlichkeit.
d) Primäre und secundäre Eigenschaften vom Standpunkt der modernen Naturwissenschaft.
e) Das Unendliche in der Physik.
2. Die Grundbegriffe des Wahrnehmungsinhaltes: Bewegung.
a) Die Kraft.
b) Die Geschwindigkeitsformen.
c) Die Richtung.
d) Der Angriffspunkt.
e) Verschiebung des Angriffspunktes (Arbeit).
3. Leibniz' Theorie der lebendigen Kraft.
B. Die Energetik 62
1. Erkenntnistheoretische Betrachtungen.
a) Die Grundformen der naturwissenschaftlichen Gleichungen.
b) Die qualitative Energetik: ihre Vor- und Nachteile.
c) Die Kausalität als methodisches Prinzip.
2. Die nichtmechanischen Energieformen.
a) Molare und molekulare Bewegungen (die Wärme).
b) Die elektromagnetischen Äthervorgänge.
c) Chemische Reaktionen.
d) Radioaktivität.
e) Der erste Hauptsatz im Lichte des zweiten.
f) Planck über das Erhaltungsprinzip.
g) Rubner über das Energieprinzip in der Biologie.
IV. Abschnitt: Energie und Substanz 93
1. Eine geschichtsphilosophische Betrachtung.

2. Die verschiedenen Bedeutungen des Substanzbegriffs.
3. Die Erhaltung der Substanz in ihren Beziehungen zu Gott, Zeit, Raum.
4. Die partiellen Substanzen und die universelle Substanz.
5. Zusammenfassung:
   a) Das Prinzip der Erhaltung der Energie als logisches Beispiel,
   b) als empirische Tatsache,
   c) als methodische Idee.

I. Teil.

Erkenntnisphilosophische Grundlegung.

I. Abschnitt.

Vom Wesen des Erkenntnisproblems der Naturwissenschaft.

Der Mensch beginnt seine Naturerkenntnis mit der Wahrnehmung, die Wissenschaft aber fängt vom Denken an; es gibt unzählig viele Menschen, aber nur eine Naturwissenschaft. Dieser Gegensatz von Wahrnehmung und Denken, von Vielheit der Erkennenden und Einheit der Erkenntnis bildet den Kern des naturwissenschaftlichen Erkenntnisproblems. Wie jedes echte Problem, enthält auch dasjenige der Erkenntnis einen Konflikt, ein dramatisches Moment in sich. Die oben angedeuteten Begriffspaare sind die in ihren Motiven gleichberechtigten Gewalten, und das Bewußtsein ist der Schauplatz des Kampfes, der sich auch als das Ringen des Zeitlosen mit dem Zeitlichen bezeichnen läßt.

Wenn wir uns nun der Lösung dieses Problems zuwenden, so wird die erste Frage, die wir zu stellen haben, die sein müssen: unter welchen Voraussetzungen ist ein Ausgleich zwischen den sich feindlich gegenüberstehenden Bewußtseinsmomenten möglich? Ist er überhaupt möglich? Im folgenden soll eine Antwort auf diese Frage gesucht werden.

Es steht zunächst fest, daß das Bewußtsein eine sowohl dem Denken wie dem Wahrnehmen übergeordnete Instanz ist, nicht als ob es etwas über oder hinter ihnen wäre, sondern

in dem Sinne, daß es den gemeinsamen Rahmen abgibt, innerhalb dessen der Kampf ausgefochten werden muß: wir haben es auf jeden Fall mit nichts Außerbewußtem zu tun, sondern die Bewußtseinsimmanenz ist der Standpunkt, von dem wir ausgehen.

Wie kommt es nun, daß der Mensch, ein Stück Natur, das von Eindrücken überschüttet wird, sie von sich abschüttelt und zum Denken greift, zu dem Einen, dem Zeitlosen? Offenbar entwickelt sich das Denken mit der Wahrnehmung, aber nicht aus der Wahrnehmung, wenigstens nicht das hier gemeinte Denken, der Sinn des Denkens, der zeitlos ist. Wie kommt es also zu dem Übergang von der einen Bewußtseinsform zu der anderen? (Form bedeutet hier soviel wie Moment, nicht Gegensatz zum Inhalt.) Wir müssen eine Voraussetzung machen: die Wahrnehmung muß gegen etwas verstoßen, das mächtiger und ursprünglicher ist als sie.

Von der Freude an der Erkenntnis spricht Aristoteles in der schönen Einleitung zur „Metaphysik", von dem Erkenntnistriebe, der sich den Wahrnehmungen hingibt, und den Gesichtswahrnehmungen insbesondere, weil sie ihn in stärkerem Grade als die anderen zu befriedigen vermögen. Und doch wendet sich der Erkenntnistrieb, den wir voraussetzen, von ihnen ab. Sehen wir nun zu, welches von den Wissensgebieten den Erkenntniswillen, der sich als die tiefste Tendenz des intelligenten Bewußtseins enthüllt,[1]) am stärksten befriedigt, so werden wir rückschauend erkennen, was der intellektuelle Wille an der Wahrnehmung vermißt. Die „göttliche Wissenschaft" der Mathematik scheint diejenige zu sein, in der der Erkenntniswille die größte Befriedigung findet. Sie ist eine Wissenschaft, die sich, und keineswegs bloß psychologisch, durch das Zusammenfallen von Notwendigkeit und Freiheit charakterisiert. Die mathematischen Begriffe werden nicht zusammengefunden, sondern erweisen sich als im strengsten

[1]) Vgl. Sigwart: Logik, I. Band, S. 3, 5; II. Band, S. 18, 26; 4. Auflage. 1911.

Sinne zusammengehörig, (während die Zusammengehörigkeit sich in andern Gebieten von dem bloßen Zusammensein nur durch das häufigere Vorkommen unterscheidet), weil sie dem Quell aller logischen Gültigkeit entspringen, also nach idealen Normen selbsterzeugt werden. Und nach dem großen Worte Kants sieht der Verstand nur das ein, was er selbst geschaffen hat.[1])

In der Tat ist es die Passivität des Bewußtseins (das Unbewußte mag dabei aktiv sein, wie die Psychologie lehrt, welche jeder Empfindung eine spontane Gefühlsreaktion des Organismus folgen läßt) gegenüber den Empfindungen, die wie aus einem Jenseits kommen, durch ihr bloßes Dasein sich aufdrängend, die die Skeptiker mit Verachtung von dem Wahrnehmungswissen reden läßt und noch immer wird reden lassen. Es sind das Skeptiker, die nicht aus Willensohnmacht und quietistischer Resignation der Sinnenwelt den Rücken kehren, sondern weil sie von einem Erkenntnisideal ausgehen, zu dessen Verwirklichung die Wahrnehmungen nicht ausreichen. Daß dasselbe Ding in verschiedenen Zeiten sich verschieden darstellt, von verschiedenen Sinnesorganen auf verschiedene Weise empfunden wird und, — wie die modernen, physiologisch unterrichteten Verächter der sinnlichen Erkenntnis hinzufügen, — daß verschiedene Dinge einem Organe identisch scheinen, ja, daß es für verschiedene Erscheinungen selbst an entsprechenden Organen fehlt, daß die Sinnesorgane im Ganzen nur mangelhaft eingerichtet sind und zuletzt oder vielmehr zu allererst, daß es Dinge gibt, daß etwas ist, das nicht durch das Denken gesetzt wurde — das sind die Gründe, aus denen die Skeptiker entweder die Unmöglichkeit der Erkenntnis behaupten, oder angesichts der doch bestehenden Wissenschaft einen andern Ursprung, als den aus der Wahrnehmung für die Erkenntnis in Anspruch nehmen.

Aber mit der Wahrnehmung fängt doch die Erkenntnis an und die Naturwissenschaft existiert doch, die Naturwissen-

[1]) Kritik der reinen Vernunft. Ausgabe von Erdmann. S. 20.

schaft, die nicht reine Mathematik ist, sondern mit dem Wahrnehmungsmaterial arbeitet. Da das letzte von den Produkten des reinen Denkens verschieden ist, so bleibt uns nichts übrig, als entweder das Faktum der Physik für unerklärbar anzugeben oder anzunehmen, daß die Einwände gegen die Wahrnehmung ganz oder teilweise falsch sind, und das Erkenntnisideal, aus dem sie hervorgingen, nicht richtig fixiert wurde. Den ersten Teil der Alternative lassen wir fallen, weil seine Annahme mit der Auflösung der Philosophie identisch wäre. Die Kritik der Wahrnehmungserkenntnis ist nun gewiß teilweise berechtigt, insofern nämlich, als nicht sie allein den Inhalt (im weitesten Sinne des Wortes) der Naturwissenschaft bilden könnte, so daß dort, wo eine wissenschaftliche Erkenntnis sich auf Wahrnehmungen aufbaut, die Unzulänglichkeiten derselben durch passende, und in sich selbst die Gewähr der Objektivität tragende Methoden ausgeglichen werden müssen. Eine solche Erkenntnis kann aber niemals auf Grund bloßer Wahrnehmungen erlangt werden, weil die Wahrnehmung teils individuell bestimmt wird, teils durch Eigenschaften des menschlichen Organismus bedingt wird. Diese Bedingtheit tritt darin zu Tage, daß dem menschlichen Bewußtsein auf direkte Weise nur ein Teil des Wirklichen bekannt, und daß das Bekanntgewordene durch die menschliche Natur modifiziert wird. Die Wahrnehmung ist vielmehr eine Seinsform als eine Seinsinstanz. Als Beispiel dafür kann eine interessante Entdeckung aus dem Gebiete der Elektrizität angeführt werden. Gilbert hat in der im Jahre 1600 veröffentlichten Abhandlung „de magnete, magneticisque corporibus“ [1]) die Körper in elektrische und unelektrische, statt in Isolatoren und Konduktoren eingeteilt; und dies aus dem Grunde, weil bei der Berührung eines Körpers durch die menschliche Hand die Elektrizität zur Erde abfließt, sodaß sich der Konduktor nunmehr als unelektrisch

[1]) Mitgeteilt bei Riecke: Lehrbuch der Physik II 3, 1897.

erweist. Erst Gray hat (im Jahre 1728) auf das Eingreifen der menschlichen Hand, welche Erkenntnisorgan und Naturding zugleich ist, hingewiesen und dadurch die Erkenntnis von der elektrischen Natur der Konduktoren, sobald sie nur an einer isolierten Stange befestigt werden, gewonnen. Der Mensch müßte als erkennendes Wesen von seiner Naturhaftigkeit befreit sein, er müßte über der Natur stehen. Aber gesetzt, daß ihm das gelänge (was unmöglich ist), so würde auch das unnütz sein: Platos reine Geister, von denen er mit solchem Verzücken im „Phaidon“ spricht, würden vielleicht mathematische Aufgaben lösen können, aber sie wären außer Stande, eine Angabe über irgend eine Naturerscheinung zu machen, denn dazu gehört, daß man in der Natur steht. Und ähnlich: wenn dem Denken eine kosmische, schöpferische Macht zukommt, wie die deutsche Romantik annahm, so kann dieses Denken wohl die Welt erzeugen, nicht aber sie erkennen, wozu die rezeptive Sinnlichkeit gehört. So stoßen wir also auf einen Riß in den Erkenntnisbedingungen der Naturwissenschaft, woraus mit Notwendigkeit hervorgeht, daß für sie eine absolute Erkenntnis der vom Menschen unabhängigen Natur nicht möglich ist. Sie vermag ihren Zweck, die Allgemeingültigkeit, nur dann zu erreichen, wenn sie vom Logischen jeden Dynamismus abstreift und überhaupt diesen aus ihren Betrachtungen ausschließt. Das Logische kann für sie einzig und allein den Sinn des Methodischen, der Einheit von Objektivierungsprinzipien besitzen. Durch diese Prinzipien vermag sich auch der Mensch von seiner Natur zu befreien, indem sie ihn nötigen, den Einfluß seiner Natur als Rechnungsfaktor in Abzug zu bringen. Der Mensch befreit sich also methodisch von seiner Natur, indem er sie erkennt. Diese Methoden, die zur Objektivierung der Wahrnehmungsinhalte verhelfen sollen, müssen aber noch vor jedem Dienste, den sie der Naturerkenntnis leisten, in sich selbst evident und objektiv sein. Denn gesetzt, sie wären nicht von Anfang an objektiv, so wäre mittels ihrer keine

Objektivierung möglich, und da die Wahrnehmung subjektiv bedingt ist, so wäre keine objektive Naturwissenschaft überhaupt möglich. Solche in sich selbst gewisse und in ihrem Sinne unwandelbare logische Begriffe sind aber nur in der Mathematik gegeben (und in dem Prinzip des Widerspruchs). Die mathematischen Begriffe sind also, kraft der ihnen von Hause aus zukommenden Gesetzlichkeit allein geeignet, als Instrumente in den Dienst des auf allgemeingültige Erkenntnis der Wahrnehmungserscheinungen gerichteten Willens zu treten. So löst sich das naturwissenschaftliche Erkenntnisproblem: die Wahrnehmungsinhalte werden mittels des Denkens, welches, als mathematisches, an sich selbst notwendig, über die Vielheit der Subjekte erhaben ist, auf allgemein gültige Weise objektiviert: das Zeitliche mittels des Zeitlosen.[1])

„Nil est in intellectu, quod non fuerit antea in sensu, nisi intellectus ipse:" diese Formel des Idealismus ist unser Leitstern. Unter dem intellectus verstehen wir aber ausschließlich den formalen Erzeuger der mathematischen Analysis, welche einmal an und für sich Bestand hat, in der Naturerkenntnis jedoch ihre Autarkie aufgibt und in den Dienst des Erkenntniswillens tritt. Die Mathematik bildet in ihrem Ansichsein die lebendige Form unseres theoretischen Geistes,[2]) macht seine innerste Struktur aus. Obwohl alles gedacht wird, so werden doch von dem Verstande Vorstellungen gedacht, die nicht er selbst erzeugt hat, sondern die ins Bewußtsein gekommen sind; dagegen werden in der Mathematik nur reine

[1]) „Um bei der fast verwirrenden Mannigfaltigkeit der Erscheinungen unserem Denkvermögen zu Hilfe zu kommen, stellt die Physik alle Hilfsmittel der Mathematik in ihren Dienst, und wenn sie etwas bedauert, so ist es das, daß ihr die Mathematik nicht noch viel mehr Hilfe zu leisten vermag." H. A. Lorentz: Sichtbare und unsichtbare Bewegungen. 1902. S. 2.

[2]) Die Verherrlichung des menschlichen Geistes ist das höchste Ziel der Mathematik, sagt Jacoby (angeführt bei Picard in „Das Wissen der Gegenwart in Mathematik und Naturwissenschaft". S. 5.)

Denkerzeugnisse gedacht, solche, die im Geiste selbst entstanden sind und nur für ihn Sinn und Bedeutung haben. In der Mathematik denkt der Geist sich selbst, er ist also im erkenntnistheoretischen Sinne auch ohne Anschauung nicht leer, wie Kant annahm, und seine Begriffe haben Geltung, auch ohne Rücksicht auf mögliche Erfahrung.[1]) Die Mathemathik ist also die Wissenschaft von den Inhalten des sich selbst denkenden Geistes. Die Geometrie dagegen ist eine Naturwissenschaft, sie ist eine Mathematisierung der Raumwahrnehmungen, wie die Bewegungslehre eine mathematische Wissenschaft von der Bewegung ist. Dies soll im nächsten Abschnitt ausführlicher behandelt werden.

[1]) Ähnlich behauptete schon Salomon Maimon. S.: B. Katz: Maimons Erkenntnistheorie in ihrem Verhältnis zu Kant. Dis. 1914. S. 16 ff.

II. Abschnitt.

Die Hauptinstanzen der naturwissenschaftlichen Erkenntnis.

Die Physik ist eine Mathematisierung der sinnlichen Daten — so können wir das Ergebnis des vorigen Abschnittes kurz zusammenfassen.

Die Mathematik bietet alle Methoden zur Beherrschung der empirischen Inhalte.[1]) Mit seinen Gedanken allein ausgerüstet, nähert sich der Mensch der Natur und wenn er dann Instrumente erdenkt, Werkzeuge ersinnt, Apparate erbaut, so verdanken auch sie der mathematischen Form des Geistes, als dem methodischen Ursprung aller Erkenntnis, ihr Dasein. Die hiermit angedeutete Theorie ist im wesentlichen eine idealistische. Das Wesen des Idealismus (nicht des Seins, sondern des Wissens) beruht eben auf dem Gedanken von der Unumgänglichkeit einer Methodik des Erfahrens. Diese Methodik ist absolut, eben deshalb aber alles Sein — nicht das absolute, welches Gegenstand der Metaphysik ist, sondern das Sein der Naturwissenschaft als Physik — also alle Seinbestimmungen relativ zu ihr. Die Denkgesetze oder präziser die Objektivierungsprinzipien (und sie sind ausschließlich mathematischer Natur) lassen sich daher als ein Koordinatensystem auffassen, inbezug auf welches alle Bestimmungen erfolgen. Das ist meines Erachtens der Kern des echten Idealismus im Gegensatz zu jenem falschen, der

[1]) Deshalb behauptet Couturat mit großem Rechte, „daß die Mathematik die wahrhaftige Logik der Naturwissenschaften ist", und „daß es keine andere Logik gibt, die außer ihr möglich wäre". (Philosophische Prinzipien der Mathematik, übersetzt von C. Siegel, S. 324.)

bei dem Koordinatensystem stehen bleibt und was seinem Wesen nach Methode ist, für absolute Realität ausgibt. Dann verliert die Sinnenwelt jeden Reiz für ihn, wird zu einem blassen Schatten, der sowohl den Namen des Seins, wie auch des Nichtseins verdient. Die Dinge, für die ja das Koordinatensystem eigentlich errichtet wird, in Hinblick auf welche es erst in seine Funktion tritt, werden diesem Idealismus zu Phantomen und Täuschungen. Diese Form des Idealismus liegt der hier vertretenen Ansicht fern.

Wir können nun an die Untersuchung der Hauptinstanzen, d. h. der Erkenntnisquellen und Erkenntnisprinzipien der Physik herantreten. Gewollt wird in der Physik eine allgemeingültige Erkenntnis der durch Wahrnehmungen gegebenen Erscheinungen. Aus der inneren Gesetzlichkeit des Erkennens werden nun Mittel herangezogen, die diesen Zweck zu verwirklichen ermöglichen. Demgemäß bezeichnen wir als erstes Grundprinzip den Satz des zu vermeidenden Widerspruchs. Dieser Satz lautet: Was einer Wahrheit widerspricht, ist falsch. Das Prinzip hat also eine eminente Bedeutung: es hütet die Wahrheit, aber nicht als Naturprozeß, sondern als eine Norm von idealer Gültigkeit. Andererseits ist das Prinzip innerhalb des Wissens selbst unschöpferisch, denn erst wenn ein Urteil als wahres feststeht, tritt der Satz des Widerspruchs, als sein Hüter in Funktion. Als subsidiärer Grundsatz ist er aber von unschätzbarem Werte, und als solcher wird er auch immer angewandt. Wehe aber, wenn er die Herrschaft der Erkenntnis an sich reißt, wenn er zur Quelle, womöglich noch der einzigen, aller Weisheit gemacht wird. Wir erkennen also in dem Prinzip des Widerspruchs einen synthetischen Satz, der transzendental, d. h. vom höchsten Erfahrungszweck aus in seine Funktion eingesetzt wird. Das Prinzip der Urteile, die man seit Kant analytisch zu nennen pflegt, d. h. unschöpferisch, nicht erweiternd, ist selbst synthetischer Natur; denn die Auszeichnung des Prinzips als idealer Norm ist eine schöpferische, d. h. synthetische, die Erfahrung

ermöglichende Leistung. Der Satz des Widerspruchs normiert einerseits die Methoden des Erkennens, andererseits die Beziehungen der einzelnen Wahrheiten zu einander. Als Norm des obersten Erfahrungszweckes weist er als falsche solche Erkenntnismethoden zurück, die der angestrebten Allgemeingültigkeit der Erkenntnis zuwiderlaufen würden: er lehnt also jede Intuition oder intellektuelle Anschauung als Erkenntnisorgan der Naturwissenschaft ab, weil sie die Allgemeingültigkeit nicht zu verbürgen vermögen; nur das mathematische Denken enthält diese Garantie und für dieses setzt sich auch das Prinzip ein.

Wir gehen somit über zum zweiten Grundprinzip der physikalischen Erkenntnis, auf dem sich die gesamte Mathematik aufbaut; wir nennen es das Grundprinzip der fortschreitenden Identität.[1])

Bei den mathematischen Wahrheiten stehen wir vor einer sehr schwierigen Aufgabe. Sie bilden ein unsichtbares Reich und erscheinen daher dem oberflächlichen Blicke, der über die Sinnenwelt den Umgang mit dem Geiste verloren hat, als unwirklich. Das ist zweifellos richtig, denn wirklich im Sinne von dinglicher Tastbarkeit sind sie ganz gewiß nicht. Hier meint man aber etwas ganz anderes. Es wird gemeint, die mathematischen Sätze, als nicht auf sinnliche Dinge bezogen, seien „eigentlich“ keine Wahrheiten, sondern willkürliche, durchaus bedeutungslose Zeichen. Aus solchen Ansichten ersieht man, wie der rationellsten aller Wissenschaften gegenüber zuweilen ein Standpunkt eingenommen wird, wie wir ihn früher den Empfindungen gegenüber kennen gelernt haben. Hier wie überall zeigt sich die dualistische Natur unseres Bewußtseins. Zu dieser populären Meinung, die sich der Zahlen bedient, ohne ihren Sinn zu verstehen,

[1]) Einen ähnlichen Gedanken vertritt Hölder, der als „das einzige und allgemeinste logische Axiom der Arithmetik das Prinzip der endlosen Vermehrbarkeit“ bezeichnet. („Die Arithmetik in strenger Begründung“. S. 5, Anmerkung.)

gesellen sich nun verwandte wissenschaftliche Ansichten über das Wesen der Mathematik. Die Mathematik als Zahlenwissenschaft scheint hier ganz und gar aus einer Abstraktion hervorzugehen; von Dingen sollen die Zahlen herrühren, von Dingen, denen unter anderen Eigenschaften auch die zukommen soll, Eins oder Zwei zu sein oder zu bedeuten; zu sein oder zu bedeuten: denn auch darüber gehen die Ansichten auseinander. Dieser Punkt ist wichtig: ob man den Dingen die Bedeutung zumißt, die Bildung der Zahlenbegriffe anzuregen, oder ob sie sie ganz zu erklären haben. Psychologisch ist offenbar die erste Meinung richtig; logisch verhält es sich aber gerade umgekehrt: die Dinge gehen in ihrer mathematischen Bedeutung auf.

Die Zahlen sind ihrem ganzen Sinne nach logische Gebilde und nur im Denken können sie ihn rein behalten, denn vom Denken zur Anschauung führt keine eindeutige Brücke hinüber. Von der Letzten versuchen nun die sensualistischen Theorien die Zahlen abzuleiten. Die einen sehen den Ursprung der Zahlen in den räumlichen Vorstellungen (so Mill, Bergson und andere), die andern in den Vorstellungen oder Denkakten schlechthin. Kant und Schopenhauer versuchten bekanntlich die Zahl von der Zeit abzuleiten. Sie übersahen aber, daß die Zeit, von der die Zahlen abstrahiert werden sollten, bereits eine mathematisierte ist, denn die Zeit, wie sie in unserem Erleben gegeben ist, ist weit davon entfernt als etwas auch an die Zahlen nur erinnerndes aufzutreten. Übrigens erfolgt die Mathematisierung der Zeit gemäß dem ihr eigenen Charakter der Einsinnigkeit so, daß nicht der ganze Inhalt der Mathematik in ihr zum Ausdruck kommt. Zähle ich bis drei und dann zurück, so gelange ich im Zahlenreich zur Null, in der Zeit aber bin ich bei der Sechs. Allgemein widersprechen die negativen und komplexen Zahlen der Möglichkeit eines Ursprungs von den Zeitverhältnissen.[1])

[1]) „Es ist ein Widerspruch — sagt Bergmann — zur Feststellung der logischen Legitimität der Zahlen die zählbare Wirklichkeit heranzuziehen,

Wie viele andere versucht auch Ostwald in seiner „Naturphilosophie“ die Zahl von dem allgemeinen Begriff der Mannigfaltigkeit zu gewinnen. Er bewegt sich aber in einem Zirkel. An die Spitze der Begriffe stellt er den Begriff des Dinges, von welchem er zum Begriff der Mannigfaltigkeit durch Hinzufügen von mehreren Dingen gelangt. In diesem Hinzufügen ist aber die arithmetische Operation der Addition schon angewandt. Die ganze Pyramide also, die Ostwald aufstellt, erweist sich als eine Funktion des Prinzips der fortschreitenden Identität, des Grundgesetzes der Zahlenbildung, welches also ursprünglicher ist, als die Mannigfaltigkeit der Dinge. Ähnlich versucht auch z. B. Russell die Zahlen von allgemeineren logischen Begriffen aus zu begründen. Er geht von dem Klassenbegriff aus und knüpft an den traditionellen Umfangsbegriff an. Jonas Cohn[1]) macht aber mit Recht darauf aufmerksam, daß der Begriff des Umfangs die Zahlen bereits voraussetzt. Ich stimme ganz Cohns Ansicht zu, daß es nicht statthaft sei von der formalen Logik auszugehen, da diese „viel voraussetzungsreicher ist als die Arithmetik“.

Die Zahlen unterscheiden sich durch ihre Bestimmtheit und Eindeutigkeit von allen anderen logischen Gebilden. Untereinander unterscheiden sie sich durch ihren Stellenwert. Andererseits werden aber die Zahlen durch synthetische Progression erzeugt, wie Dedekind[2]) und Poincaré[3]) zeigen. Das Prinzip der schöpferischen Identität vereinigt in sich die beiden Grundmomente des Zahlenbegriffs.

Das Denken ist formal schöpferisch. Wenn dem nicht so wäre, wie käme es dazu Schranken zu durchdringen, wie

von deren Zählbarkeit wir doch erst wissen, wenn uns die Arithmetik ein schon vorher logisch gerechtfertigtes Mittel der Zählung, eben die Zahlen zur Verfügung gestellt hat.“ (Das Unendliche und die Zahl. S. 4.)

[1]) Voraussetzungen und Ziele des Erkennens. S. 168. 1908.

[2]) Stetigkeit und irrationale Zahlen, S. 6.

[3]) La science et l'hypothese, S. 9—28.

würde es die einfachste Addition: $a + (b + c)$ in die Form $a + b + c$ auflösen können (nach dem sogenannten Gesetz der Assoziation), wenn es nicht allen seinen Einzelschöpfungen gegenüber übergreifend wäre? Das Denken setzt sie und löst sie selbstherrlich auf, wozu es das innerlichste Recht in einer Eigenschaft besitzt, aus der nach einem Hegel'schen Wort „die Unendlichkeit schäumt", d. h., daß es an keine Diskretionen gebunden, sondern kontinuierlich ist. Die Unendlichkeit ist der tiefste Gedanke unseres Geistes. Er ist nirgends vollziehbar als im Denken selbst; keine Anschauung, keine Wahrnehmung sind imstande diesem urwüchsigen Gedanken als Stütze zu dienen, ihn unter sich zu beherbergen, „der Himmel und des Himmels Himmel fassen ihn nicht". Nur im Denken und für das Denken hat er Sinn. Der Unendlichkeitsgedanke ist der Ursprung aller Philosophie, er war der Ausgangspunkt der Kantischen Weltanschauung und ist immer Gegenstand des tiefsten Nachdenkens. Zwei Auffassungen des Unendlichen stehen sich seit jeher gegenüber: die vollendete oder aktuelle und die unvollendbare oder potentielle Unendlichkeit, eine abgeschlossene Unendlichkeit und ein grenzenloser Fortschritt werden als der Sinn des Unendlichen angegeben. In Hegels Philosophie wurde die erste zur wahren, die zweite zur schlechten Unendlichkeit, wie denn überhaupt jene Auffassung meist in den spekulativen Systemen (Spinozas Substanz und alle sonstige Formen des Absoluten) die zweite in der Wissenschaft und der an ihr orientierten Philosophie des Wissens zu Hause ist. In der modernen Mathematik haben sich diese Ansichten zu einem Begriffspaar des Infiniten und des Trans- oder Superfiniten umgebildet. Es ist namentlich G. Cantor, der sich um diese Begriffe große Verdienste erworben hat.[1])

Trotzdem aber Cantor von einer echten Unendlichkeit handelt, zeigt sich doch bei näherer Betrachtung, daß auch

[1]) G. Cantor: Allgemeine Mannigfaltigkeitslehre. Ein mathematisch-philosophischer Versuch. 1883.

das Transfinite (welches übrigens nur ein rein mathematisch technischer Ausdruck ist) von demselben Denkgesetz beherrscht wird, das sich in der unendlichen Fortsetzbarkeit aller Einheiten ausdrückt, denn es ist nebensächlich, ob zur Einheit eine endliche Größe, oder ein unabzählbarer, nur qualitativ angebbarer Größeninbegriff gewählt wird. So kann niemals von einer anderen Unendlichkeit die Rede sein, als allein von der unfertigen, nie vollendbaren, immer fortsetzbaren. Die so verstandene Unendlichkeit erschöpft sich also als Möglichkeit, als reine Denkbarkeit: und das Anstößige, das man an ihr noch finden könnte, besteht jetzt darin, daß diese Möglichkeit niemals zur Wirklichkeit wird, das Denkbare sich nicht ausdenken läßt, sondern eine permanente Denkbarkeit, eine reine Möglichkeit bleibt. Durch diese reine Möglichkeit ist auch die Stetigkeit charakterisiert. Das Stetige drückt sich wie das Unendliche zunächst negativ aus: es ist dasjenige, was durch keine diskreten Größen zusammensetzbar ist. Das Stetige ist ein Inbegriff und ein Gegenstand läßt sich einem stetigen Gebilde einordnen, wenn es von ihm feststeht, daß er keinem anderen angehört.[1]) Es wird aber sehr oft der Irrtum begangen, daß man das Stetige aus dem Diskontinuierlichen entstehen läßt; das ist nicht möglich. Das Kontinuum ist das jenseits jeder bestimmten Zahl Liegende; nur wenn es gedacht wird hat es Sinn, wird es gemessen, so verfällt man in Paradoxien, die die Geschichte von Zeno an durchziehen. Meist wird aber der Fehler begangen, daß man das Stetige durch die Anschauung begründet. Aber die Anschauung kann zugestandenermaßen nichts geben, was sich als Möglichkeit erschöpft; sie kann nur Wirklichkeit, d. h. quantitativ bestimmbare Größen vorführen. Im Denken allein ist das Mögliche „wirklich", nämlich wirklich gedacht. Ist dem aber so, so läßt sich sagen, daß die Antinomie zwischen dem Diskreten und Kontinuierlichen, dem Endlichen und Unendlichen nicht ein Kampf des Denkens gegen die Anschauung ist, sondern in der Divergenz zweier gleich bedeutsamer

[1]) J. Cohn, Voraussetzungen und Ziele des Erkennens. S. 270.

Denkrichtungen besteht, der qualitativen einerseits, welche den kontinuierlichen Fluß in unbenannten Zahlen oder in allgemein ausgesagten Bildungsgesetzen deutlich macht und der quantitativen andererseits, die sich in Setzungen von diskreten, benannten Zahlen ausdrückt. Darin, daß im Denken selbst Größen von zahlenmäßiger Bestimmtheit vorkommen, und andere, die sich nur als „zwischen" und nur als ein „mehr oder weniger" definieren lassen, dürfte der letzte Grund aller genannten Gegensätze liegen. In dem Prinzip der fortschreitenden Identität kommen beide Seiten des mathematischen Denkens zum Ausdruck. Die Idee des Fortschreitens bringt das Grenzenlose hervor, das Stetige einerseits, das Unendliche andererseits; das Identische wird gleichsam ausgeschieden und vertritt das Messbare. Das Schöpferische im mathematischen Denken, das sich als Fortgang ins Unendliche ausspricht, bringt auch den gewöhnlichen Ordnungsbegriff hervor, der den natürlichen Übergang von Kontinuum zum Diskreten bildet, in dem er die Grenzenlosigkeit des Fortschritts und die zahlenmäßige Bestimmtheit in sich vereinigt. Die Ordinalzahlen entspringen einem Bildungsgesetze, demgemäß sie eindeutig fortschreiten, als ein „früher oder später" sich folgen, wodurch die Unvergleichbarkeit einer jeden mit jeder andern erzeugt wird. Jede Stelle für sich hat dagegen einen bestimmten Wert, ist mit sich selbst identisch. Außerdem hat aber das Denken noch einen Begriff, den man vielleicht am besten als bloße, als reine Identität ansprechen kann. Das ist die Null. Sie hat ähnlich wie das Unendliche eine doppelte Bedeutung, nur daß sich beide gleich durchführen lassen. In der Infinitesimalrechnung übernimmt sie die Rolle der verschwindenden Größe, in der Arithmetik aber bedeutet sie die verschwundene Größe, die Abwesenheit jeder Größe. Die Nichtunterscheidung dieser beiden Bedeutungen der Null ist ein Fehler, den Natorp in seinem exzellenten Werke: „Die logischen Grundlagen der exakten Wissenschaft" begeht. Obwohl er an einer Stelle (S. 226) der absoluten und der relativen Null

gedenkt, so behandelt er doch nur die letzte sehr ausführlich, ja unternimmt sogar als Hauptziel die Relativierung der Null. Die Null bedeutet ihm den jeweiligen Ausgangspunkt des Rechnens; jede Zahl soll die Funktion der Null übernehmen können, wie jede Zahl die Rolle der Eins oder Zwei spielen kann. Nun ist das offenbar nicht der Fall: $dx = 0$, und $a - a = 0$ haben eine wesentlich verschiedene Bedeutung. In der ersten Formel wird die Null als Grenze gedacht, der sich das Differenzial gesetzmäßig nähert; in der zweiten bedeutet sie aber Aufhebung jeder Größe. Mit der Null in der ersten Bedeutung können Integrationsoperationen vorgenommen werden, dagegen bedeutet die absolute Null einen Punkt, der aus sich selbst nichts erzeugen kann, wofür die Multiplikation einer jeden Zahl mit Null, die Null ergibt, charakteristisch ist. Man kann eben aus Nichts nichts erzeugen, und wenn man es unzähligemal setzen würde. Ex nihilo nihil fit — diese Formel der Energetik hat schon hier ihre Gültigkeit. Und der Sinn der Gleichung $0 + 1 = 1$ ist eben der, daß die Null für die Größenzählung nicht in Betracht kommt und die Eins die absolute Erstsetzung einer Einheit bedeutet. Natorp übersieht, daß jede Zahl ihren bestimmten Stellenwert besitzt und als solche auf keine Weise die Funktion und Bedeutung einer anderen übernehmen kann. Das bezieht sich sowohl auf die Null, wie jede andere Zahl überhaupt und die Eins insbesondere. Keine andere Zahl kann die Eins bedeuten, sondern was jede Zahl mit der Eins gemeinsam hat, ist, daß jede die Funktion der Bezugseinheit übernehmen kann. Die Eins ist die Einheit der natürlichen Zahlenreihe, aber die Einheit ist an die Eins nicht gebunden, sondern kann ihren Träger mit jeder anderen Zahl vertauschen. Der Träger der Einheit kann variieren, die Eins hat einen unverrückbaren Stellenwert. Durch die Beziehung auf die Eins als Einheit werden die Zahlen zu Größen, zu gedanklichen Zahlengrößen. Diese Unabhängigkeit der Einheit von ihrem jeweiligen Träger ist der tiefste Ausdruck des Denkens, als souveräner Be-

ziehungsfähigkeit. Aus der Beziehung der Ordinalzahlen auf die jeweilige Einheit ergibt sich die Kardinalzahl. Zwei ist z. B. die zum zweiten Male gesetzte Eins als Einheit. Die durch wiederholte Setzung einer Einheit entstehende Zahl bekommt aber noch den Sinn, daß die einzelnen Setzungen in ihr erhalten bleiben, während sie in rein ordinaler Auffassung zwar auch auf das Erstgesetzte bezogen wird, aber es zugleich als etwas anderes ausschließt. Dagegen schließt die Kardinalzahl die vorangegangenen Setzungen nicht aus, sondern ein. Daher läßt sich die Kardinalzahl aus der Ordinalzahl nicht rein ableiten, sondern es kommt ein neues Moment zu, das des Bewahrens, der Erhaltung.[1]) In diesem Sinne ist die wiederholte Setzung einer Einheit eine Zusammenfügung einer Zahlengröße zur anderen, oder eine Addition. Die Ordnungszahlen sind exklusiv, jede von ihnen hat einen bestimmten Stellenwert; hingegen sind die Kardinalzahlen additiv und multiplikativ (und innerhalb beider Operationen, welche gleich ursprünglich sind, assoziativ und kommutativ.) Zwischen der Eins und der Zwei gibt es eine unendliche Stetigkeit, als deren Grenzen die beiden rationalen Zahlen gelten; zwischen dem Ersten und dem Zweiten gibt es kein — Drittes. Als Inversionen (die nichts mit den logischen Konversionen zu tun haben) gelten die Subtraktion und die Division. Hier entsteht der Begriff der arithmetischen Richtung und das Begriffspaar des Ganzen und des Teiles; gegenüber derjenigen Zahl, welche eine größere Anzahl von Einheiten umfaßt, ist jede einzelne ein Teil, der sich mit anderen zum Ganzen zusammensetzt und wieder von ihnen abgezogen, abgelöst werden kann. Jede Zahl, auch die Eins kann als zusammengesetzt betrachtet werden, jede zusammengesetzte Zahl kann auch die Rolle der Eins, d. i. die Einheit, übernehmen. In beiden Fällen ergibt sich der Begriff des Bruches.

[1]) „Die Notwendigkeit der Ergänzung der Lehre von den Stellenzeichen", wenn man den Anzahlbegriff „den Typus des Aggregats" gewinnen will, der durch das letzte Stellenzeichen bezeichnet wird, betont Hölder. („Die Arithmetik in strenger Begründung", S. 5, Anmerkung.)

Noch haben wir den Begriff der gedanklichen Veränderung zu betrachten. Vortreffliches findet sich darüber bei Natorp.[1] „Die Größe als Veränderliche enthüllt ihre eigentliche Bedeutung erst, sofern dabei mitgedacht wird an eine gesetzliche Beziehung, gemäß welcher eine Wertreihe einer anderen von Glied zu Glied korrespondiert. Nicht die Größe ist veränderlich, auch die Größe als Kontinuum bedeutet nur die Bedingung der Veränderlichkeit, aber ist selbst nicht veränderlich. Sondern nur eine Größe kann streng genommen als veränderlich gedacht werden, gleichzeitig mit der Veränderung einer anderen." Auf diese Weise entsteht der Begriff der Größe als Funktion: eine Größe (die Unbekannte der Gleichung), wird in einer Abhängigkeitsbeziehung von einer anderen, dem Argument, gedacht.

Die Reihe der Werte, die die Variable durchläuft, ist gesetzmäßig bestimmt durch ihre Beziehung zur unabhängig Veränderlichen; ihre Veränderung ist stets und stetig der Veränderung des Arguments in irgend einer Weise proportional. Der analytische Ausdruck der Funktion ist die Gleichung, die sich von der gewöhnlichen durch das mitgedachte Moment der Veränderung unterscheidet, so daß die veränderliche Größe einen Zuwachs erfährt, je nachdem die Größe (oder die Größen), zu der sie in Beziehung gebracht wird, zunimmt. Die Entwicklung der Funktion führt durch Anwendung auf stetige Größen zu dem Begriff der derivierten Funktion oder des Differentials, als dessen Inversion die Integralrechnung gilt. Der Differentialbegriff, als aus dem Stetigkeitsgedanken geboren, bedeutet, wie H. Cohen[2] namentlich hervorhebt und an geschichtlichen Beispielen erhärtet, das Intensive gegenüber dem Diskreten als Extensivem. Indem aber Cohen diese Beziehung weiter verfolgt, kommt er auf einen, wie mir scheint, gänzlich unmathematischen und unphysikalischen Gedanken, daß das X

[1] l. c. 206.

[2] Kants Theorie der Erfahrung. 2. Auflage. Das Infinitesimalprinzip und seine Geschichte. Logik der reinen Erkenntnis.

aus dem dx hervorgeht. Es wird vielmehr immer von X auf dx zurückgegangen, so daß, wenn das X für einen Augenblick aus dem Auge verloren wird, auch das dx jeden bestimmten Sinn verliert und selbst zu einem x' wird. Die Differentiation ist zwar logisch nicht ursprünglicher, als die Integration, wie Cohen mit großem Rechte betont, aber auch das Umgekehrte scheint nicht der Fall zu sein: sie sind eben beide in strenger funktioneller Korrelation.

Wir sind mit der Analyse der Grundbegriffe der reinen Mathematik zu Ende. Folgende Momente ergaben sich in der Betrachtung: der unendliche Fortgang, sowohl in der Setzung von Diskretionen, wie auch in der kontinuierlichen Durchdringung derselben; an ihn knüpft sich der Begriff der funktionellen Veränderung zweier von einander abhängigen Größen; der Begriff der Zahl als Größe entwickelt sich bei den arithmetischen Operationen der Zusammensetzung und Zerlegung einzelner Zahlengrößen, welche in der natürlichen Zahlenreihe auf die Eins, im übrigen aber auf jede andere Zahl als Einheit bezogen werden können; im Unterschiede von diesen Kardinalzahlen, deren Hauptmerkmal in der Erhaltung der einzelnen Setzungen liegt, zeigten sich die Ordinalzahlen als exklusiv und bestimmte Stellenwerte einnehmend. Diese Grundbegriffe der Mathematik sind nun die einzigen Denkmittel, mit und nach denen die Objektivierung der Erscheinungen erfolgt. Als Bedingungen der Objektivität und zugleich Methoden der Objektivierung können wir sie als Kategorien bezeichnen.

Wir werden also folgende Kategorien auszuzeichnen haben: 1. die Kategorie des bestimmten Stellenwertes (Auseinandersetzen), 2. Kategorie der Zusammensetzung und Zerlegung (Zusammensetzen), 3. Kategorie der funktionalen Abhängigkeit (Zueinandersetzen), 4. Kategorie der Stetigkeit (Ineinandersetzen).

Diese Kategorien sind nicht statische Gesichtspunkte, sondern dynamische Prinzipien, die vom Erkenntniswillen zur

Objektivierung der naturhaften Anschauungen und Wahrnehmungen herangezogen, sich an dem Sinnesmaterial betätigen. Einmal in Verbindung mit den wirklichkeitsschwangeren Empfindungen getreten, kann der Geist zwar nicht qualitative Beschaffenheiten beseitigen oder neue erzeugen, aber er vermag auf Grund der ihm eigenen Gesetzlichkeit die Erscheinungen in Größenbegriffe von qualitativ verschiedenen Maßeinheiten umzudeuten, so daß er mit ihnen wie mit Zahlen hantiert und auf diese Weise die Objektivität zustande bringt. In ihrem Zusammenschlusse ergeben die Kategorien den Begriff der Gesetzlichkeit, in die als Grundmomente die Bestimmtheit eines jeden Elementes und zugleich die konstante, funktionelle Abhängigkeit von anderen, veränderlichen Größen eingehen. Diese Grundmomente haben zuletzt ihren tiefsten Grund in der Stetigkeit und Eindeutigkeit alles Gedachten.

Im Anschluß an diesen Gedanken soll nun der Unterschied zwischen den Grundprinzipien der physikalischen Erkenntnis und den Kategorien erwogen werden. Nach Kant schematisiert sich jede Kategorie zu einem Grundsatz.[1]) Die Schematisierung erfolgt durch Veranschaulichung der reinen Verstandsbegriffe in Zeitverhältnissen. Unentschieden bleibt dabei, ob das Zeitverhältnis eine Kategorie zur Tätigkeit bringt oder ob die Kategorie sich selbsttätig einer Zeitform anschmiegt. Sie erscheinen als aneinander gebunden, und keine von beiden ist primär. Diese Unbestimmtheit wurde in der weiteren Entwicklung zum Hauptproblem der Philosophie und die prästabilierte Harmonie zwischen den Anschauungsverhältnissen und den Denkfunktionen wurde gebrochen, indem man entweder von der transzendentalen Ästhetik Kants oder von der transzendentalen Analytik ausging. Es ist eine Pflicht zu dieser Grundfrage aller Philosophie Stellung zu nehmen. Wir können nun, um vom wichtigsten anzufangen, die Zeit und den Raum nicht als im absoluten Sinne apriorische

[1]) H. Cohen: Kants Theorie der Erfahrung. 2. Auflage. S. 270—290.

Denkfunktionen anerkennen. Wenn man Kants Definition des Apriori als des denknotwendigen und allgemeingültigen annimmt, so sind in diesem Sinne weder Raum noch Zeit apriori. Betont doch Kant selbst den spezifisch menschlichen Charakter dieser Anschauungsformen;[1]) was aber spezifisch-menschlich ist, und wovon dies sogar eingesehen wird (was nur geschehen kann, wenn man andere Denkformen vor Augen hat, denen absolute d. h. über- und außermenschliche Gültigkeit zukommt) ist eo ipso nicht denknotwendig und nicht allgemeingültig im strengen Sinne des Wortes, weil anders konstituierte Wesen die Welt anders ansehen würden. Das Apriorische muß aber von jeder psychologischen Organisation unabhängig sein und die spezifische Eigenheit derselben kann nur eingesehen werden im Unterschiede von dem schlechthin Allgemeingültigen, dem allein also der Name des Apriori beigelegt werden darf. Eine weitere Bestätigung der Nichtapriorität des Raumes liefert die Unmöglichkeit einer logischen Ableitung seiner Dreidimensionalität und nicht minder die moderne, nicht-euklidische Geometrie, die das, was noch Kant als unantastbar hinstellt, nicht bloß antastet, sondern einfach umstürzt. Da ist zum Beispiel Euklids Postulat, daß durch einen Punkt in einer Ebene zu einer geraden Linie sich nur eine Parallele ziehen läßt, von Lobatschewski angegriffen und an seine Stelle die Lehre, daß sich unendlich viele Linien in Gedanken ziehen lassen; da ist Riemanns Lehre vom sphärischen Raume, nicht als bloßer Ergänzung des Euklidischen, sondern als ebenbürtiger Konstruktion. Dies beweist zur genügenden Klarheit, daß von einer Denknotwendigkeit des euklidischen Raumes keine Rede mehr sein kann, daß, wie Wellstein[2])

[1]) „Wir können nur aus dem Standpunkte eines Menschen von Raum, von ausgedehnten Wesen usw. reden.“ Kritik der reinen Vernunft. Ausgabe Erdmann, S. 71.

[2]) Wellstein: Enzyklopädie der elementaren Geometrie. S. 146. 2. Auflage.

sagt: „die prinzipielle Alleinherrschaft der euklidischen Geometrie gebrochen ist".

Man kommt also zur Erkenntnis, daß Kant durch die Bezeichnung des Raumes als apriori einen Widerspruch gegen seine eigene Definition des Apriori begangen hat, und daß die moderne Geometrie den euklidischen Raum als empirisches Objekt behandelt.[1])

In der Philosophie der Gegenwart wird nun eine andere Auffassung des Apriori vertreten: sie gibt sich zwar als eine echt Kantische aus, bedeutet aber in Wahrheit eine Veränderung des Sinnes. Das ist übrigens ganz natürlich und völlig gerechtfertigt, denn wie Windelband[2]) mit programmatischen Worten verkündete, heißt „Kant verstehen, über ihn hinausgehen". Die Begründung des Apriori wird im Anschluß an Kant transzendental genannt.

Die transzendentale Frage, die bekanntlich zuerst in den Prolegomenen (und hier mehr aus didaktischen als rein prinzipiellen Gründen)[3]) und dann in der zweiten Auflage der „Kritik" aufgeworfen wurde, wird von Kant so formuliert: wie ist die (faktische) Wissenschaft (die Mathematik, die reine Naturwissenschaft) möglich?[4])

Die Frage von der Möglichkeit wird nun von Kant — und das ist sehr charakteristisch — stets durch den Hinweis auf eine Gegebenheit beantwortet. Auf die (metaphysisch) gegebene Tatsache einer Raumform, die nicht von äußeren Erfahrungen abgezogen ist, wird hingewiesen, um die Möglichkeit der apriorischen Geometrie zu erklären: und ähnlich auf die Tatsache, daß wir in dem Verstande eine hypothetische Urteils-

[1]) Vgl. Hölder: Anschauung und Denken in der Geometrie.

[2]) Präludien. 3. Aufl., S. IV.)

[3]) S. 57. Ausgabe von Kehrbach.

[4]) Volkelt bemerkt mit Recht (Ästhet. III. Bd., S. 482), daß Kant die transzendentale Frage nicht auf alle Gebiete des Kulturlebens ausgedehnt hat, was ein durchaus neuer, vielmehr Hegelianischer als Kantischer Gedanke ist. Originalität und große philosophische Bedeutsamkeit wird man jedoch diesem Standpunkte nicht absprechen dürfen.

form vorfinden, die Möglichkeit eines Naturbegriffs als notwendigen Zusammenhangs der zeitlich sich folgenden Erscheinungen zurückgeführt, so daß kurz die metaphysische Deduktion der transzendentalen Frage zur Begründung dient.

Die modernen Kantianer lösen nun das Problem wesentlich anders. Bei Cohen z. B. findet sich keine Spur einer metaphysischen Ableitung; die Logik ist ganz zur Technik der mathematischen Naturwissenschaft geworden. „Die transzendentale Methode besteht in der Anerkennung solcher Elemente des Bewußtseins als Elemente des erkennenden Bewußtseins, welche hinreichend und notwendig sind, das Faktum der Wissenschaft zu begründen und zu festigen.[1]) Jeder Begriff, der zum Aufbau der Physik dient, wird als apriorische Grundlegung, als Hypothesis im platonischen Sinne bezeichnet. Daraus folgt nun, daß die Kategorientafel nicht unveränderlich ist, weil die Wissenschaft im Laufe der Entwicklung immer neue Suppositionen erfordert. Merkwürdigerweise wird nun die Zeit, in der ja die Entwicklung erfolgt, und, obgleich namentlich bei Natorp[2]) mit großer Begeisterung von einem unendlichen Wege der Wissenschaft geredet wird, dieser Weg selbst (der ja die Voraussetzung für die Möglichkeit aller Grundlegungen überhaupt, also selbst nicht im selben Sinne eine Hypothesis ist), als eine Kategorie unter anderen bezeichnet.

Daraus ergibt sich aber, daß letzthin die transzendentale Begründung mit einer teleologischen, von dem Erfahrungszwecke aus, gleichbedeutend ist. Wir halten es daher für eine Konsequenz dieser Theorie, von dem Erkenntniswillen und seinen Zwecken auszugehen,[3]) wir können aber nicht der Ansicht beitreten, daß jeder teleologisch abgeleitete Grundbegriff eo ipso

[1]) Kants Theorie der Erfahrung. 2. Auflage, S. 77.

[2]) Philosophie. Ihr Problem und ihre Probleme. S. 16.

[3]) Wie denn Cohen selbst an einer Stelle sagt: „Es ist eine Art von Willensaufgabe, welche dem Denken gestellt wird. Denn vornehmlich gehört die Aufgabe dem Gebiete des Willens an“ (Ethik des reinen Willens, S. 143).

apriori ist; die Begriffe, welche auf diese Weise abgeleitet werden, nennen wir Grundprinzipien, worunter die Instanzen verstanden werden, welche zur Verwirklichung des Erkenntniszweckes, d. h. im Falle der Physik einer allgemeingültigen Erkenntnis der in Wahrnehmungen gegebenen Erscheinungen, notwendig sind. Dagegen unterscheiden wir von einer teleologischen eine streng logische Begründung, welche nicht danach fragt, ob gewisse Prinzipien für irgendwelche Zwecke taugen oder nicht, sondern allein nach ihrer Evidenz, und ob sie schlechthin allgemeingültig sind, was nur durch eine Analyse der Mathematik möglich ist. Die Operationen der reinen Mathematik als erfahrungsunabhängiger Wissenschaft können, neben dem Prinzip des Widerspruchs, allein als Ausdruck der Denkstruktur gelten. Mit ihrer Festlegung beschäftigt sich die reine Logik; denn während die Mathematik aus den Formen des Denkens ihre Inhalte entwickelt, sucht die Logik umgekehrt die Inhalte der Mathematik auf ihre logischen Formen zurückzuführen.

Die Prinzipien, die bis jetzt behandelt wurden, sind also apriorischer Natur, d. h. haben unbedingte Gültigkeit. Eben deshalb sind sie befähigt den Erkenntniszweck zu verwirklichen, und, indem zu ihrer logischen Apriorität die teleologische Brauchbarkeit hinzutritt, werden sie von „Stammbegriffen zu Erfahrungsformen“ oder zu Kategorien.

Es genügt also nicht, daß ein Begriff als Voraussetzung für die Wissenschaft dient, um ihn als apriorischen zu bezeichnen, sondern er muß abgesehen davon, in sich selbst rein logisch evident und notwendig erscheinen, wie der Satz des Widerspruchs und die mathematischen Wahrheiten. Also kann der Raum nicht als apriorischer Begriff angesehen werden, weil sich seine Erkenntnis auf Wahrnehmungen, also nicht rein logischen Momenten, aufbaut. Übrigens würde der Raum auch dann nicht als apriori zu bezeichnen sein, wenn man unter apriori eine notwendige Voraussetzung der Physik verstehen würde. Denn der Raum ist nicht bloß Voraussetzung

der Physik, sondern abgesehen davon Gegenstand einer selbständigen Wissenschaft, und die Geometrie muß nicht ausschließlich als Hilfswissenschaft betrachtet werden, ebenso wie die Architektur eine Kunst für sich ist und nicht ein Hilfsmittel für die ornamentale Malerei. Würden wir aber jedes Objekt, oder auch nur jedes von universeller Bedeutung als apriori bezeichnen, so müßten wir auch der Materie, dem Äther usw. Apriorität zuschreiben, was den Sinn des apriori völlig verdrehen würde, denn diese Erscheinungen müssen selbst zuerst mittels apriorischer Denkfunktionen objektiviert werden.

Wenn uns in den vorangegangenen Grundsätzen Prinzipien von kategorialer Bedeutung entgegen getreten sind, so repräsentiert das dritte und letzte Grundprinzip das Material der Erkenntnis; wir bezeichnen es als Prinzip der anzeigenden Wahrnehmung.

Man kann einwenden, daß es überflüssig sei, ein Prinzip auszuzeichnen, welches das eigentliche Gebiet der Wissenschaft umfaßt, denn es sei selbstverständlich, daß die Naturforschung eine Erforschung der wahrgenommenen Inhalte ist. Um diesen möglichen Einwand zu widerlegen, müssen wir an zweierlei erinnern: erstens an die Natur der Wahrnehmung, zweitens an die Aufgabe der Erkenntnistheorie. Im Prinzip der anzeigenden Wahrnehmung ist die logische Passivität und Naturhaftigkeit der Wahrnehmungen ausgesprochen. Dieses Prinzip umfaßt also dasjenige, was man im gewöhnlichen Sinne Erfahrung nennt. Wenn man sich auf die Erfahrung, als die alleinige Quelle alles Wissens, beruft, wenn man als Aufgabe der Naturwissenschaft die bloße Beschreibung der Erscheinungen bezeichnet,[1]) so meint man, die Wahrnehmungserkenntnis sei die eigentlich naturwissenschaftliche Erkenntnis. Dies ist aber eine ungeheuere Täuschung: die Naturwissenschaft würde mit der bloßen Wahrnehmungserkenntnis nicht auskommen, sie würde

[1]) Vgl. dagegen die Ansichten des Physikers O. Wiener: Die Erweiterung unserer Sinne 1900. S. 43, des Mathematikers O. Hölder, l. c. und des Philosophen O. Külpe: Die deutsche Philosophie der Gegenwart.

nicht wissen, was objektive Tatsache ist, und was subjektive, auch bloß individuelle „Erfahrung“ ist, wenn sie nicht die logischen und mathematischen Denkfunktionen zu Hilfe nähme. Deshalb scheint mir ein adäquaterer Ausdruck für die Aufgabe der Naturwissenschaft der zu sein: die Erscheinungen zu berechnen (im weitesten Sinne des Wortes), denn darin kommt auch das apriorische Erkenntniselement zum Ausdruck: die Rechnungsgesetze nämlich werden nicht mehr „erfahren“, sondern nach idealen Normen gedacht. Daraus ergibt sich auch die allgemeinste Charakteristik der Kategorien: sie sind Rechnungsmethoden, und ermöglichen die mathematische Darstellbarkeit der Naturvorgänge, wodurch das Ziel der Wissenschaft, die Allgemeingültigkeit erreicht wird. Die Erkenntnistheorie muß eine besondere Auszeichnung des Wahrnehmungsprinzips fordern, weil die Wahrnehmungsurteile den Anspruch erheben, als wahr zu gelten; als Theorie des Rechts gewisse Urteile für wahr zu halten, muß sie also die Wahrnehmung (generaliter genommen) als ein Prinzip bezeichnen, auf welches man sich als auf eine Wahrheitsinstanz berufen darf; und die Rechtfertigung erfolgt durch die Angemessenheit zum obersten Erkenntniszweck. Ob sich also jeder Wahrnehmung ein Existentialurteil hinzugesellt oder nicht, das kann uns nur als Psychologen, aber nicht im geringsten als Theoretiker der naturwissenschaftlichen Erkenntnis interessieren, denn die Psychologie ist eine Lehre vom Sein, die Erkenntnistheorie dagegen eine Lehre vom Dürfen. In dem psychologischen Erfahren können vom Standpunkte des Erkennens Widersprüche vorkommen, z. B. die Sinnestäuschungen: dagegen sind sie in der objektiven Erfahrung (als Faktum) ausgeschlossen, weil hier nach idealen Normen gerichtet wird.

Diese Auffassung wäre auch dann im Rechte, wenn alle Wahrnehmungen ausnahmslos objektive Erkenntnis lieferten, geschweige denn also in dem Falle, in dem wir uns tatsächlich befinden, daß die Wahrnehmungserkenntnis sich so oft als subjektiv und individuell erweist.

Um sie von diesen Mängeln zu befreien, treten die objektivierenden Kategorien in Dienst; als einführende Kategorie bohrt sich zuerst die Kategorie des bestimmten Stellenwertes in die Wahrnehmungsinhalte ein. Sie isoliert sie von einander; aus der psychologischen Mannigfaltigkeit, in welcher Zeit zu Raum, Raum zu Zeit wird, in der die verschiedensten Empfindungen sich je nach dem Befinden des Subjekts zu Vorstellungsgruppen verweben und, gefühlsmäßig verschmolzen, auf einander mit den affektiven Gefühlstönen zugleich auch ihre Inhaltsbedeutung übertragen, wo alles in allem ist, isoliert sie die Inhalte von einander, um dann ihre Abhängigkeit zu betrachten.

Die fundamentalste Erscheinung unseres Bewußtseins, die mit allen Wahrnehmungen aufs innigste verbunden und verwachsen ist, ist die Zeit. Von ihr, als einer für das uns beschäftigende Thema der Energieerhaltung grundlegenden Form, soll nun die Betrachtung anfangen. Die charakteristischeste Eigenschaft der Zeit ist ihre Einsinnigkeit und Unumkehrbarkeit; ein Merkmal, welches logisch unbegreiflich ist, weil das Logische überzeitlich ist. Daher ist es nicht zu verwundern, daß Philosophen, welche auf das Logische eingestellt sind, Anstoß an dieser Tatsache gefunden haben, sie leugneten oder für eine subjektive Täuschung hielten, für ein auxilium imaginationis, wie Spinozas klassischer Ausdruck lautet. Das Bewußtsein der Einsinnigkeit, dieses höchste, allem Raisonnement widerstehende Wunder unserer Innenwelt entspringt einem Gefühl, das man vielleicht als Gefühl des Wachstums und Werdens bezeichnen kann. Aber nicht bloß psychologische Individuen, sondern alle Erscheinungen, nur dem Grade nach verschieden, unterliegen der zeitlichen Veränderung. Für die Beurteilung derselben, d. h. für objektive Aussagen über die außerindividuellen zeitlichen Veränderungen eignen sich aber die zeitlichen Erlebnisse nicht mehr; daher schreiten die Kategorien ein, um nach ihrem Ebenbild das Werk der Objektivierung zustande zu bringen. Die erste

Leistung ist nun die Isolierung der Zeitform von den variierenden Inhalten. Den Anhalt dazu bietet die Tatsache, daß Inhalte wechseln können, während das Tempo nahezu unveränderlich bleibt, und daß der nämliche Inhalt von verschiedener Dauer sein kann.[1]) Diese Tatsachen genügen vollständig zu einer Objektivierung. Die Einsinnigkeit und Unumkehrbarkeit sind das individuelle Gepräge der Zeit, und dieses muß bewahrt werden, weil es sich ja um die Erkenntnis der Veränderung als einer bestimmten Naturerscheinung handelt, nicht aber um bloße Gewißheit, zu welchem Zwecke man logische Mythen ersinnen könnte: Die relative Unabhängigkeit des Tempos von den Inhalten genügt zur vollständigen Isolierung derselben, zur fundamentalen Unterscheidung von Zeitform und Zeitinhalt, welche ein Werk des Verstandes ist; und innerhalb der ersten zur Durchführung der Kategorie des bestimmten Stellenwertes und der Stetigkeit. So wird die Zeit zu einer unendlichen Reihe von Stellenpunkten, die — mutatis mutandis, mit Rücksicht auf ihre individuelle Eigentümlichkeit alle Eigenschaften der natürlichen Zahlenreihe bekommt; nun setzt die Kategorie der Zusammensetzung ein; die Zeitteile werden addiert und subtrahiert, multipliziert und dividiert, und die Stetigkeit bewirkt die unendliche Teilbarkeit. Und nun, nachdem die Zeitinhalte von einander isoliert wurden, bleibt eine höchst wichtige Tatsache übrig, daß manche Erscheinungen regelmäßig einander folgen. Dies kann keine gewöhnliche psychologische Assoziation sein, denn die Kategorie des bestimmten Stellenwertes hat jedes Ereignis von den anderen isoliert; für diese regelmäßige zeitliche Folge macht nun die Kategorie der funktionellen Abhängigkeit den Schritt zur Objektivierung; die sukzessive Relation wird, nachdem sie als regelmäßige unter Isolierung aller Umstände, die als störend in Betracht kommen können, erkannt wird, zu einer funktionellen Beziehung der beiden Erscheinungen umgedeutet. Das dynamische Moment.

[1]) Wundt: Physiologische Psychologie, VI. Auflage, III. Band. Kleine Schriften: Was soll uns Kant nicht sein?

welches in dem subjektiven Erleben deutlich empfunden wird, wird als eine Erscheinung, für die eine adäquate Kategorie nicht vorhanden ist, eliminiert. So entsteht das Kausalverhältnis, welches in der Form der Gleichung dargestellt werden kann und in welchem die vorhergehende Erscheinung die Bedeutung einer bedingenden, die folgende die einer bedingten Größe erhält. Diese Größen sind, wenn sie auf die nämliche Einheit bezogen werden, einander gleich, sie sind einander proportional, wenn ihre Bezugseinheiten qualitativ differieren (zum Beispiel: Arbeit und Wärme), in beiden Fällen sind sie diskret und können durch benannte Zahlen dargestellt werden.

Nun haben wir schon in der Analyse der mathematischen Begriffe auf die Divergenz zwischen den diskreten Zahlengrößen und der qualitativen Kategorie der Kontinuität hingewiesen; da nun beide Kategorien in der Objektivierung der Zeitverhältnisse tätig waren, werden wir mit Recht zu erwarten haben, daß sie sich auch auf diesen Boden verpflanzt hat. Jene Divergenz wird hier zu einer Antinomie, welche lautet: ist eine Erscheinung mit der sie bedingenden gleichzeitig oder folgt sie ihr?[1]) Trennt sie ein Zeitabstand, wie kann sie dann bedingt werden, ist sie aber gleichzeitig, wie kann dann von einer Veränderung die Rede sein?

Jede bestimmte Zahlenangabe widerstreitet dem Stetigkeitsprinzip und dies nicht bloß in den Dauerverhältnissen, sondern überall, wo die mathematischen Begriffe zur Anwendung kommen und wo bestimmte Messungen durchgeführt werden sollen. Im Raume begegnen wir der nämlichen Antinomie bei dem Problem der Nahe- und Fernekräfte. Und in beiden Fällen möchte man fragen: wo endet die Gleichzeitigkeit und beginnt die Folge, wo endet die Nähe und fängt die Ferne an? Denn man sage: die Einwirkung erfolgt nach einer

[1]) Zur ganzen Frage: Wundt: Mechanische Prinzipien der Naturlehre. S. 125—150.

Stunde oder nach einem Millionstel einer Sekunde: es kommt auf dasselbe hinaus: beide sind diskrete Größen. Einem ähnlichen Problem begegnen wir in dem Gegensatz von Dynamismus und Materialismus: es soll die Materie durch Punkte erklärt werden: sind nun die Punkte ausdehnungslos, so ist die Materialität nicht begreiflich, sind sie aber ausgedehnt, so ist die Materialität bereits vorausgesetzt. Nach Hartmann[1]) besteht der Fehler der namentlich von Huyghens vertretenen Hylokinetik in der Verwechslung des Ausdehnungslosen mit verschwindend kleinen Stoffmengen. Hartmann selbst zieht den Dynamismus vor und verfällt in die nämliche Schwierigkeit. Diese erscheint uns, wie bereits bemerkt, als die größte und einzige Antinomie, die jenseits aller Lösbarkeit liegt, weil sie in der Divergenz zweier Richtungen des reinen Denkens selbst begründet ist. In puncto der Zeitverhältnisse läßt sich die Antinomie für physikalische Zwecke lösen, indem man eine Größe bestimmt, unter welcher die Erscheinungen als sukzessiv, über welcher sie als gleichzeitig anzusehen sind. Als solche Konstante gilt nach einer neueren physikalischen Theorie die Lichtgeschwindigkeit. Alle Vorgänge, die mit größerer Geschwindigkeit geschehen, gelten als gleichzeitig, z. B. die Wirkungen der Gravitation.

Wenn es sich bei diesem Problem um das Verhältnis der Anfangszeiten von Ursache und Wirkung handelte, so handelt es sich bei einer mit ihm eng verwandten Frage um die Beziehungen der Endzeiten zu einander. Hört die Wirkung zugleich mit der Dauer der Ursache auf, oder verharrt sie über dieselbe hinaus? Auch hier läßt sich apriori nichts ausmachen. Bei manchen Erscheinungen hören Ursache und Wirkung fast gleichzeitig auf, bei anderen beharrt die Wirkung. Im Ganzen wird man die Dauer der Wirkung — die wir als empirisches Moment von der idealisierten Zeitform unterscheiden —, als eine quali-

[1]) Die Weltanschauung der modernen Physik. S. 200.

tative Eigenschaft derjenigen Erscheinung, die zu einer anderen in funktioneller Abhängigkeit steht, anzusehen haben. Ein weicher Eisenstab, der mittels eines natürlichen Magnets erregt wird, verliert seine magnetische Kraft, wenn der Magnet entfernt wird. Dagegen behält sie ein mittels desselben Magnets erregter Stahl. Dieselbe Kraft bedingt also an zwei verschiedenen Körpern verschiedene Erscheinungen.[1]) In dem betrachteten Falle besteht die Verschiedenheit in der Dauer der Wirkung, welche an die stoffliche Qualität des Stahles und des Eisens gebunden ist oder vielmehr mit derselben zusammenfällt. Wie in diesem Falle die Dauer der Wirkung, so wird in anderen die Wärmekapazität oder die Farbe (bei den Fluoreszenzerscheinungen) durch die spezifische Qualität der bedingten Erscheinungen bestimmt, so daß allgemein die Funktion quantitativ dem bedingenden Argument äquivalent ist, qualitativ jedoch (mathematisch qualitativ, d. h. von verschiedener Maßeinheit) von der Natur der bedingten Größe abhängig ist.

Wir gehen zu den Raumwahrnehmungen über. Nach Wundts präempiristischer Theorie, die, wie es scheint, immer mehr anerkannt wird, kommen die Raumwahrnehmungen durch ein Prinzip der schöpferischen Synthese zustande. Das Prinzip darf jedoch nicht als Bewußtseinsgesetz[2]) bezeichnet werden, denn den Raum- wie allen anderen Wahrnehmungen gegenüber verhält sich das Bewußtsein rezeptiv, rein an-

[1]) Es kann also nur in quantitativer Hinsicht dem Satze zugestimmt werden, daß dieselbe Ursache gleiche Wirkungen hat. Qualitativ kann aber (wie aus den angeführten Beispielen hervorgeht), dieselbe Ursache ganz verschiedene Wirkungen haben, je nach dem, worauf sie wirkt, ähnlich, wie qualitativ verschiedene Ursachen die gleiche Wirkung haben können (so kann Arbeit aus Wärme, chemischer und elektrischer Energie gewonnen werden). — In quantitativer Hinsicht muß man übrigens, um den Gegensatz von Verursachung und Auslösung zu vermeiden, die Differentialrechnung einführen.

[2]) Wundt: Physiologische Psychologie, 6. Auflage, III. Band, Schlußkapitel, S. 755.

erkennend. Die wesentliche Eigenschaft der Raumelemente ist ihre Ausdehnung, welche sich auf keine Weise durch Spekulation gewinnen läßt. Die Dreidimensionalität des Raumes ist eine solche nicht weiter zurückführbare Gegebenheit, wie die Farbigkeit oder die Beweglichkeit der Dinge. Wie sich nicht logisch deduzieren läßt, daß sich die Erscheinungen bewegen, oder daß sie farbig sein müssen (und nach Abzug der sinnlichen Empfindung, daß sie in elektromagnetischen Wellen von verschiedener Länge undulieren), so ist es auch auf keine Art möglich apriori zu beweisen, daß sie notwendig dreidimensional sein müssen. Auch eine teleologische Ableitung ist nicht möglich, d. h. auch wenn man vom Erfahrungszweck, dem eindeutigen Zusammenhang der Erscheinungen ausgeht, läßt sich nicht zeigen, daß einzig auf Grund des euklidischen Raumes ein solcher Zusammenhang möglich ist; Poincaré[1]) behauptet und führt die Behauptung durch, daß jede Raumkonzeption als Substrat dienen kann. Und Jonas Cohn[2]) kommt zu dem Resultat, daß die Tatsächlichkeit des Raumes einen Überschuß über die Forderung der Bestimmbarkeit der Erscheinungen bietet. Der Raum ist dreidimensional, und die euklidische Geometrie eine empirische Wissenschaft, denn von allen nach dem Stetigkeitsprinzip denkbaren Räumen behandelt sie einen anschaulich gegebenen; sie ist also Wissenschaft von der wahrgenommenen Beschaffenheit der Naturdinge, also eine Naturwissenschaft. Als Wissenschaft logisiert sie die Erfahrungsinhalte, schafft Grundgebilde (Punkt, Linie) und Grundbegriffe (Axiome).

[1]) Science et l'hypothèse 50—100.

[2]) Voraussetzungen und Ziele des Erkennens. S. 241.

II. Teil.

Naturphilosophische Durchführung.

III. Abschnitt.

Die Objektivierung der Wahrnehmungsinhalte der Physik.

A. Die Mechanik.

Die Mathematisierung von Zeit und Raum erfolgt durch Isolierung der zeitlichen und räumlichen Wahrnehmungen von allen anderen Inhalten, mit denen sie vor jedem Objektivierungsversuch aufs engste zusammenhängen. Aber erst diese Erscheinungen, welche nach der Verabsolutierung von Zeit und Raum zurückbleiben, bilden den Gegenstand der eigentlichen Physik. Und wie im vorwissenschaftlichen Seinszustand sich zeit-räumliche Inhalte mit den anderen komplizieren, so werden auch alle physikalischen Erscheinungen, nur bereits von ihrer naturhaften Bedingtheit losgelöst, auf die mathematische Zeit und den mathematischen Raum bezogen, wie auch umgekehrt Zeit und Raum in der Physik durch neue Momente bereichert werden (z. B. in der Relativitätstheorie). Eben deshalb war eine Analyse der Zeit und des Raumes für den weiteren Fortgang der Untersuchung unumgänglich. Auf die Schwierigkeiten der Problemlage der physikalischen Erkenntnis ist schon im ersten Abschnitt hingewiesen worden: unter Heranziehung neuer Momente läßt sie sich so zusammenfassen: biologische Funktionen sind zugleich Erkenntnisfunktionen; das Sehen z. B.

ist eine physiologische Tätigkeit, soll aber zugleich Erkenntnis leisten. Die Empfindungen, die keine Abbildungen der Dinge sind, sondern ihre Wirkungen, werden durch die spezifische Natur des physiologischen Organs modifiziert. Die Vorstellung, mit der, psychologisch gesprochen, erst die theoretische Erkenntnis beginnt, ist also ein Bild der bereits modifizierten Empfindung. Sie ist also ein ungenaues Bild des Dinges selbst; außerdem tritt hinzu, daß die Vorstellungen einer eigenen Gesetzlichkeit unterliegen, die von der der Dinge verschieden ist. Die Prinzipien der Assoziation sind nicht Gesetze der Dinge: die Vorstellungen werden vergessen, während die Dinge beharren. Wie allerdings die Dinge zu Vorstellungen werden, ist unbeantwortbar, weil diese Tatsache erst den Ausgangspunkt der Erkenntnis bildet, also selbst nicht wieder erkannt, nicht erklärt werden kann. Kants Frage: wie Dinge in unsere Vorstellungskraft hinüberwandern, läßt sich also weder psychologisch, noch erkenntnistheoretisch, sondern vielleicht nur metaphysisch durch die Hypothese einer letzten Einheit von Sein und Denken in einem Absoluten beantworten. Für die Erkenntnistheorie bleibt aber diese Schwierigkeit bestehen und kann nur auf die Weise gelöst werden, daß man sich entschließt diese Tatsache als eine indiskutable aus ihrem Problemgebiete auszuschließen. Nicht also: wie Dinge bewußt vorgestellt werden (ebenso zahlreich sind aber auch Fälle von unbewußten Vorstellungen der Erscheinungen), kann die Frage sein, sondern wie angesichts der geschilderten Unzulänglichkeiten der „bloßen Erfahrung" eine allgemeingültige Erkenntnis, wie sie erstrebt wird, erreicht werden kann. Durch „mathematische Prizipien" kann allein die „Naturlehre" zur objektiven Wissenschaft werden, ist sie seit Galilei und Newton Wissenschaft geworden.

Noch einige Bemerkungen sind hier am Platze. Sind nun alle Wahrnehmungen, ist die Wahrnehmung, generaliter genommen, bloß subjektiv? Dies war die Meinung Kants, dies ist auch ein Glaubenssatz der Naturforschung. Und doch

mit Unrecht. Die Wahrnehmung ist eine Naturerscheinung und auch die durch den Organismus veränderte Empfindung ist naturnotwendig bedingt. Die Sache ist mit der Behauptung nicht abgetan, daß man meint: die Kraft sei eine bloße Abstraktion von „menschlichen" Empfindungen. Der Mensch ist aber so wirklich wie alle anderen Wesen und Dinge, und seine Lebensempfindungen nichts akzidentielles, wie der falsche Rationalismus meint, sondern die Lebensblüte selbst. Wenn eine Erscheinung vom Menschen empfunden wird, so ist sie nicht deshalb als antropromorphe zu verwerfen, denn daraus, daß sie sich dem menschlichen Bewußtsein auf irgend eine Weise darstellt, folgt noch nicht, daß sie nicht auch außerhalb des Menschen gerade so ist, wie im Menschen (zum Beispiel die räumlichen Formen der Dinge). Der Mensch hat als Naturwesen viele Eigenschaften mit anderen Dingen gemeinsam und unterliegt denselben Gesetzen, wie die anderen Erscheinungen. Was heißt also: eine Wahrnehmung sei subjektiv, ein Urteil objektiv, welchen Sinn hat dieses Begriffspaar vor der Instanz der Naturwissenschaft? In der Philosophie haben diese „konjugierten" Begriffe von jeher eine fundamentale Bedeutung und bekanntlich haben sie im Laufe der Entwicklung ihren Sinn vertauscht.[1]) Das Objektive bedeutete ursprünglich das, was von den Dingen in das Bewußtsein hineinfiel, objiziert wurde, während das Subjekt, das vom Menschen unabhängige Substrat, die Grundlage der Erscheinungen ausdrückte. Später bekam nun das Objektive die Bedeutung des vom Menschen, als dem Subjekte, Unabhängigen. Unter Subjekt verstand man — entweder den Menschen in seiner psychophysischen Totalität und, indem man von ihm die Welt abhängig machte, gelangte man zum physiologischen Idealismus eines Schopenhauer — oder bloß den vorstellenden Geist, wie Berkeley, oder zuletzt das logische Bewußtsein bei Kant, oder das absolute, denkende Ich eines Fichte.[2]) Bei Kant erscheint

[1]) Eucken: Die Hauptströmungen der Gegenwart. 4. Aufl. S. 10.

[2]) Vgl. Rickert: Der Gegenstand der Erkenntnis. 2. Aufl. 1904.

aber infolge des Hineinspielens der Dinge an sich eine Einschränkung der Subjektivität des Bewußtseins: nur gegenüber den von den logischen Erkenntnisbedingungen unabhängigen Dingen an sich ist das „Bewußtsein überhaupt" subjektiv, es ist aber der alleinige Quell der Objektivität für das Erfahrungsgebiet: also für die Naturwissenschaft ist das Logische das Objektive, dagegen alle Wahrnehmungen subjektiv. Hier wird also der Unterschied von objektiv und subjektiv in das Bewußtsein selbst hineingelegt. Unter den modernen Kantinterpreten betont namentlich Riehl,[1]) daß durch die Rolle, die Kant den Wahrnehmungen zuwies, er denselben ungerecht wurde. Und in der Tat: eine Wahrnehmung kann als subjektiv oder als objektiv angesehen werden, je nach dem Gesichtspunkt, unter dem man sie betrachtet. Es kommt also in erster Linie darauf an, den Standpunkt anzugeben, von dem man die Wahrnehmung betrachten will. Auf den Willen kommt es an: und wieder: nicht in dem Sinne, als wenn der Erkenntniszweck imstande wäre Objektivität zu schaffen, sondern in dem anderen, daß er die Unterscheidung, die Auswahl der Kriterien ermöglicht. Wenn es also darauf ankommt, Rechenschaft zu geben über den Zustand des „Subjekts", so ist zum Beispiel der von Kant angeführte Satz: der Zucker ist süß, im höchsten Sinne des Wortes objektiv, d. h. wahr: jedes Individuum würde unter den nämlichen Umständen von dieser Empfindung dieselbe Aussage machen. Anders aber ist es, wenn als Erkenntnisziel die Feststellung erstrebt wird, wie eine Erscheinung unabhängig von dem menschlichen Sinnesorgan sich verhält. Das Verhalten kann identisch, es kann aber auch verschieden sein, weil ja die Empfindung durch das Sinnesorgan bedingt wird. In diesem Falle wäre die Berufung auf die Empfindung eine subjektive, mit der Bedeutung des Falschen. Und darauf kommt es an: nicht schlechtweg ist die Empfindung subjektiv oder objektiv, sondern je nach dem Erkenntnisziele: von diesem

[1]) Riehl: Philosophischer Kritizismus. 2. Band, 1. Teil, 1879.

Standpunkte ist aber subjektiv gleichbedeutend mit dem Falschen und objektiv mit dem Wahren. Die Wärmeempfindungen sind subjektiv, d. h. ein Urteil, das sich auf ihnen aufbauen würde, wäre in der Physik, welche die Erscheinungen unabhängig von der menschlichen Empfindungsart erkennen will, falsch, dagegen sind sie in der Physiologie objektiv; für einen Arzt, der den Zustand des Kranken feststellen will, ist ein Urteil über eine Wärmeempfindung auch dann wahr, wenn das Thermometer Kälte aufweist. Also muß man eine Einschränkung der oben gegebenen Erklärung des Objektiven machen: auch dasjenige, was nicht von anderen auf dieselbe Weise empfunden werden könnte, ist objektiv und eine Aussage darüber wahr, denn objektiv ist nicht gleichbedeutend mit überindividuell, sondern auch das Individuellste, das Einmalige, kann Gegenstand einer wahren Aussage sein. Im Anfang war und ist der Standpunkt.

Die Physik setzt nun das Objektive dem Allgemeingültigen gleich; daher ist für sie jede bloß als individuell erkannte Aussage subjektiv und unbrauchbar, d. h. falsch. Noch weitere Einschränkungen des allgemeinen Objektivitätsbegriffs treten in der Physik hinzu. Philosophisch steht fest, daß sich über jede Erscheinung schlechtweg eine Wahrheit aufstellen läßt, von jeder eine Wahrheit gilt. In der Physik verhält sich das aber anders: die logische Möglichkeit einer Feststellung genügt hier nicht, sondern diese Möglichkeit muß eine physikalisch nachweisbare sein, oder präziser: erst mit der Feststellung ist ein Satz gültig; d. h. die logische Gültigkeit eines Satzes ist von seiner Bestätigung unabhängig, dagegen ist in der Physik ein Satz erst dann gültig, wenn er sich mit physikalischen Mitteln begründen ließ. Dies hat zur Folge, daß die Physik nicht über alle Erscheinungen, die in ihr Gebiet fallen, Wahrheiten aufstellen kann, sondern nur, sofern sie den Bedingungen genügen, unter denen eine objektive Feststellung möglich ist. Erscheinungen also, die sich nicht den Kategorien gemäß behandeln lassen, sind, trotzdem sie physisch sein mögen, nicht physikalisch. Dort also, wo keine realisierbare Möglichkeit

vorliegt, die Erscheinungen nach der Kategorie des bestimmten Stellenwertes zu isolieren, sie zum behuf der Feststellung ihrer Abhängigkeitsverhältnisse zu variieren, ist auch eine physikalische Behandlung ausgeschlossen. Wir werden jedoch sehen, daß das Prinzip der Erhaltung der Energie teilweise einen solchen Fall darstellt, und insofern eine rein logische Seite bekundet. Logische Gültigkeit und objektiv-empirische Tatsächlichkeit müssen also auseinandergehalten werden, ebenso wie die subjektiv-sinnliche Existenz von der objektiv-empirischen unterschieden werden muß.

Jetzt wird auch die Unterscheidung der Empfindungen von primärer und solcher von sekundärer Natur klar. Aus dem Standpunkt der Physik wird eine Klasse von Qualitäten (Ausdehnung, Dauer, Masse usw.) durch die Natur des empfindenden Organs nicht qualitativ modifiziert, während die andere (Licht, Schall, Wärme usw.) eine qualitative Veränderung im Sinnesorgan erleidet. In beiden Fällen aber werden die physikalischen Bestimmungen erst durch Anwendung der Kategorien gewonnen; die primären Eigenschaften bedeuteten nicht physikalisch-objektive, sondern vielmehr solche, welche sowohl dem Menschen als Naturwesen, wie auch allen anderen physikalischen Erscheinungen auf die nämliche Weise zukommen; um jedoch allgemeingültig und dem individuellen Meinen enthoben zu werden, müssen auch diese Erscheinungen mathematisch geläutert werden. Raum und Zeit haben wir bereits behandelt, nun sind die weiteren Wahrnehmungen, welche der Mechanik angehören, an der Reihe. Vorerst sei aber folgende Überlegung gestattet: wenn es der Sinn der primären Eigenschaften ist, das Menschen und Dingen Gemeinsame zu bedeuten, so ist es dem Stande der modernen Physik entsprechender solche Beziehungen als primär zu bezeichnen, welche allen Erscheinungen der physischen Welt gemeinsam sind, und nicht bloß den Dingen im Verhältnis zum Menschen; als sekundär dagegen solche, die nur gewissen Erscheinungen zukommen. Primär heißt also soviel wie universell, sekundär soviel wie

partiell (spezifisch). Als sekundäre Eigenschaften würden wir also ansehen, ob eine Erscheinung ein materieller oder ein Äthervorgang ist, ob ein Stoff basisch oder sauer reagiert; als primär dagegen solche, die allen Erscheinungen gemeinsam sind, mögen sie basisch oder sauer, rot oder grün, mechanisch oder elektromagnetisch sein: als eine solche werden wir nun die Erhaltung der Energie ansprechen. Alle Erscheinungen, welcher Natur sie auch sonst sein mögen, stimmen darin miteinander überein, daß ihre Arbeitsfähigkeit unveränderlichen Beziehungen unterliegt, d. h. die Erhaltung der Energie gilt als eine über die spezifische Beschaffenheit der Dinge erhabene Naturkonstante, der sich also nur der Raum und die Zeit, als ebenso allen Erscheinungen gemeinsam, an die Seite stellen. Dies soll noch nicht als Ableitung des Prinzips der Erhaltung gelten, sondern als eine Bestimmung seines Ortes in den Eigenschaften, die der Wissenschaft selbst entnommen ist. Seiner Begründung wollen wir uns jetzt zuwenden. Zunächst soll gezeigt werden, wie der Satz in der Mechanik gewonnen und durchgeführt wird, dann sollen die energetischen Beziehungen molekular-mechanischer, elektromagnetischer, chemischer und radioaktiver Vorgänge aufgezeigt werden. Überall wollen wir auf die Unterscheidung des empirischen und kategorialen Momentes bedacht sein.

Allen physikalischen Untersuchungen muß der Satz vorangestellt werden, daß die Physik nur für zeitlich und räumlich begrenzte Vorgänge empirische Gesetze aufstellen kann. Dies folgt daraus, daß die Physik sich nicht mit bloß qualitativ bestimmten Inbegriffen begnügt, sondern meßbare Größen überall fordert. Auf die Meßbarkeit wird nur aus technischen, niemals aber aus rein prinzipiellen Gründen verzichtet.[1]) Wo die Physik auf das Unendliche zu sprechen kommt, merkt man, daß es den Sinn einer zu vernachlässigenden Größe hat: so wenn gesagt wird, daß das elektrische Potential eines

[1]) Vgl. H. Bergmann: „Die Bestimmung „unendlich“ ist nichts anderes als ein Ausdruck für die Tatsache, daß das Maß versagt, die Größenbestimmung unmöglich ist“ (l. c. S. 15).

Körpers in einem Punkt der Arbeit gleich ist, die anzuwenden wäre, um ihn aus dem Unendlichen in die Nähe eines Leiters zu bringen. Hier hat das Unendliche den hypothetischen Sinn einer Entfernung, bei der die Wirkung eines elektrischen Körpers eine quantité negligeable ist, also gleich Null zu setzen ist; statt des Unendlichen könnte man also setzen: eine endliche Entfernung von solcher Größe, daß für sie das Potential praktisch gleich Null anzunehmen ist. Dem Trägheitsprinzip, welches die Unendlichkeit fordert, tut dies keinen Abbruch, denn nicht die wirkliche Endlichkeit der Welt wird behauptet, sondern allein, daß die physikalischen Gesetze nur für endliche Systeme unbedingte Gültigkeit beanspruchen dürfen. Das Trägheitsprinzip ist eine idealisierte, wenn auch in den beobachtbaren Erscheinungen begründete Annahme; Ideen sind aber nicht der Forderung der Meßbarkeit unterworfen, wenn auch diejenigen Erscheinungen, die realiter auftreten, gemessen werden müssen, worüber noch später zu handeln sein wird. So wird auch das Energieprinzip, indem es die Unendlichkeit berührt, zu einer Idee.

Die Grundwahrnehmung, von der die Mechanik[1]) ausgeht, ist die Beobachtung, daß gestoßene Körper sich bewegen, d. h. ihren Ort verändern. Auf dieser sinnlichen Tatsache baut sich die Mechanik als Wissenschaft von der aktuellen und der zeitweise kompensierten Bewegung, d. h. dem Gleichgewicht auf. Die Größen also, mit denen die Mechanik

[1]) Die Darstellung der Mechanik wird folgende Zwecke verfolgen:

1. die allgemein dargelegten Beziehungen der Wahrnehmung zum Denken und

2. den Sinn der Kategorien als Formen des Gedankens der Erhaltung (oder Identität) an den mechanischen Grundbegriffen in concreto zu illustrieren, und

3. nachzuweisen, daß erst durch den Begriff der Energie die physikalisch wirkliche Natur zum Ausdruck gelangt.

Aus diesen erkenntnistheoretischen Gründen wird sich die Darstellung ausführlicher gestalten, als dies der Fall wäre, wenn sie bloß auf die Gewinnung des Arbeitsbegriffs hinzielen würde.

rechnet, sind der Qualität nach Bewegungen: das Gleichgewicht dagegen übernimmt in der Mechanik als Aufhebung der Bewegungsgröße die Rolle der Null (nämlich Null an Bewegungsgröße wie die arithmetische Null an gedanklicher Größe), als solche heißt sie Ruhe, und Ruhe bedeutet zugleich Stille, da die Schallbewegungen rein mechanischer Natur sind. Ruhe und Bewegung sind Korrelatbegriffe und fordern sich gegenseitig, so wie die Eins nur in Beziehung zur Null und Null nur in Beziehung zur Eins Bedeutung hat. Absolute Ruhe und absolute Bewegung sind methodische Forschungsideen.

Dies wäre eine Abgrenzung der Bewegung gegen das Unbewegliche. Nun unterscheiden sich die Bewegungen untereinander qualitativ. Diese qualitative Verschiedenheit erschöpft sich aber, wie überall auf dem Gebiete der rationell begreiflichen, d. h. mathematisch behandelbaren Wissenschaft in einem Zahlenunterschiede. Bewegung ist Ortsveränderung in der Zeit und kann analytisch ausgedrückt werden durch eine Kurve, welche die Abschnitte der Abscisse mit denen der Ordinate verbindet und entsprechend durch eine Gleichung. Es kann zunächst die Frage entstehen, wie Zeit und Raum zu einander in solche Beziehung gebracht werden können. Dieses Problem ist von d'Alembert gelöst. Er sagt: „Die Gleichung einer Kurve, welche die Ordinate mit den Abscissen verbindet, wird zwar nicht das Verhältnis der Zeiten zu den Räumen, sondern, wenn man so sagen darf, das Verhältnis zwischen dem Verhältnis, welches die Teile der Zeit und ihre Einheit besitzen und jenem, welches die Teile des durchlaufenen Raumes zu der seinigen haben, auszudrücken.“ [1]) Hier sehen wir klar, wie zwei im Erlebnis und auch in der späteren Idealisierung verschiedene Wirklichkeitsreihen kraft der Souveränität des Geistes, der beide Formen nach seinem Ebenbild gestaltet, zu einander in Beziehung treten können. Er kann sie einander zuordnen, denn ob Raum oder Zeit, er durchdringt gleichmäßig beide.

[1]) d'Alembert: Traité de Dynamique. 1743 S. VIII.

„In der Zeit hat alles seinen Platz in Bezug auf die Aufeinanderfolge im Raume, in Bezug auf die Lagen aller Dinge.“[1] Die Kategorie des bestimmten Stellenwertes erntet ihre Früchte. Die Formen der Bewegung können also auf diese Weise unterschieden werden, daß einmal einer gleichen Zahl von Zeitteilchen eine gleiche Anzahl von Raumteilen zugeordnet wird, das andere Mal gleichen Zeitabschnitten ungleiche Räume. So erhalten wir zwei Typen der Bewegung: die gleich- und die ungleichförmige Bewegung, wobei noch folgende Unterabteilung zu machen ist: entweder werden numerisch gleichen Zeitteilen numerisch gleiche Räume zugeordnet — gleichförmige Bewegung — oder es werden in verschiedenen untereinander gleichen Zeiten numerisch verschiedene Raumteile durchlaufen, aber nach einem konstanten Prinzip — gleichförmig beschleunigte (zum Beispiel der Fall zur Erde) oder gleichförmig verzögerte (zum Beispiel die nach dem logarithmischen Decrement gedämpfte Schwingung) oder es werden drittens in verschiedenen Zeiten verschiedene Räume, ohne ein Prinzip, durchlaufen — ungleichförmige Bewegung. Aber diese Gesetzlosigkeit kann unser mathematischer Verstand, der reine Gesetzlichkeit ist, nicht ertragen; und so eilt der Stetigkeitsgedanke den in ihrer logischen Begreiflichkeit bedrohten Erscheinungen zur Hilfe und aus den tiefsten Geistestiefen wird die Differentialrechnung erzeugt, die die methodische Funktion der gesetzlichen Objektivierung übernimmt: die Zeitteilchen werden dem Stetigkeitsprinzip gemäß so klein gedacht, daß die Bewegung sich als gleichförmig darstellen läßt. So gibt es nur gleichförmige Bewegungen, wenn unter gleichförmig gesetzlich verstanden wird, gleich- und ungleichförmig, wenn sie nach dem oben angegebenen Sinne unterschieden werden. So erhalten wir die Begriffe der Geschwindigkeit und der Beschleunigung. Beide sind, wie gesagt, gesetzlich. Gesetzlichkeit aber bedeutet das widerspruchslose Zusammenwirken aller Kategorien. Bis jetzt aber haben wir nur die Leistungen der Kategorie des be-

[1] Newton: S. 27. Übersetzung von Wolfers 1872.

stimmten Stellenwertes und der Stetigkeit betrachtet; wo bleiben nun die anderen, die Kategorien der funktionalen Abhängigkeit und der Zusammensetzung? Wir müssen die Bewegung noch nach diesen Seiten untersuchen.

Wenden wir uns der Funktion zu. Wir haben schon gesehen, auf welche Weise sie die empirischen Zeitverhältnisse zur Objektivierung bringt. Die zeitlich und räumlich getrennte Erscheinung ist ihrem Argument, der bedingenden Größe, quantitativ äquivalent, qualitativ aber durch ihre eigene Individualität bedingt. Nun ist die Bewegung ein zeitlicher Vorgang von einer qualitativen Größe. Sie wird also in eine Funktionalbeziehung zum Stoß, dem sie folgt, gebracht werden müssen, d. h. nun zur Kraft. Ursache der Bewegung, Kraft — das sind Begriffe, an die der Physiker nur ungern erinnert wird. Wer wüßte etwas von der Ursache der Bewegung, wer weiß, was Kraft ist? Aber die Bewegung der Feder, die ich jetzt führe, ist sie keine Bewegung und die Kraft, die mich das kostet, ist sie nicht Ursache der Bewegung? So hat es Galilei gesagt, mit besonderer Klarheit hat aber Lagrange in seiner nicht genug zu rühmenden Mechanik sich darüber ausgesprochen. „Die Kraft ist Ursache, welche, was sie auch sei, dem Körper, an dem man sie sich angebracht denkt, eine Bewegung erteilt.“ [1]) Da ist das erlösende Wort gesprochen: Was immer sie sein mag: die Kraft ist Ursache der Bewegung. Als solche nur soll sie gedacht werden. Also was auch die Kraft an sich sei: für die Erfahrungszwecke genügt es, wenn ihr der methodische Sinn der Ursache, der bedingenden Größe, d. h. in analytischer Sprache, des Arguments beigelegt wird. So sagt auch Lagrange: „En prenant une force quelconque ou son effet pour l'unité, l'expression de toute autre force n'est plus, qu'un rapport, une quantité mathématique, qui peut être représentée par des nombres ou de lignes; c'est sous ce point de vue que l'on doit considérer les forces.[2])

[1])[2]) Lagrange: Mécanique analytique 1811, I. Band, S. 1.

Der analytische Ausdruck eines funktionellen Verhältnisses ist nun die Gleichung: somit sind sich die Erscheinungen ihrer Größe nach gleich, wenn sie auf die nämliche Einheit bezogen werden, proportional, wenn die Einheiten qualitativ verschieden sind, allgemein sind sie einander äquivalent zu setzen. Daher kann die Kraft an der Bewegungsgröße gemessen werden: so wird die Masse multipliziert mit der am vorher ruhenden Körper bewirkten Geschwindigkeit zum Kraftmaß. Handelt es sich um eine stetig in einem Zeitintervall wirkende Kraft, so ist das eigentliche Maß der Kraft das Produkt aus Masse und Beschleunigung.[1]) Das sind nun die beiden Typen der Bewegung, die wir oben betrachtet haben: die gleichförmige und die beschleunigte; die Masse bleibt in beiden Fällen dieselbe: so kann der Unterschied nur an der Kraft liegen. Seit Galilei werden nun in der Mechanik zwei Formen der Kraft unterschieden: der momentane Impuls, der als Ursache einer nachfolgenden gleichförmigen Geschwindigkeit gedacht wird, und die eigentliche stetig wirkende Kraft, die für die beschleunigte Bewegung das bestimmende Moment ist.[2]) Die Wirkung einer Kraft in einem Zeitintervall kann als eine Summation vieler diskreter kleiner Impulse gedeutet werden.[3]) Wenn wir also den Impuls gewissermaßen als begriffliche Einheit der Kraft auffassen, so wird die Kraft als eine durch Anhäufung solcher Einheiten entstandene Größe zu betrachten sein. So ist also der Kraftbegriff im Verhältnis zum Impuls eine Leistung der Kategorie der Zusammensetzung: die einzelnen Impulse addieren sich, indem sich der frühere in späteren erhält, zur Kraft. Auf diese Weise erlangen wir den Zusammenschluß aller Kategorien, d. h. aber den Begriff der Gesetzlichkeit. Die Ruhe ist also die Null an Bewegung, der Impuls die ange-

[1]) Vgl. z. B. Gustav Kirchhoff: Vorlesungen über Mechanik. 4. Auflage. 1897. S. 22.

[2]) Mach: Die Mechanik, S. 143. 6. Auflage.

[3]) Wundt: Logik der exakten Wissenschaften, S. 320. (II. Band der „Logik", 3. Auflage.)

nommene Einheit der Kraft, die als durch stetige Summation der Impulse hervorgebracht gedacht werden kann. In funktioneller Beziehung zum Impulse steht die Geschwindigkeit, während die Beschleunigung durch die Kraft bedingt wird. Inbetreff der Dauer dieser Wirkung sagt nun Galilei,[1]) daß sie ins Unbegrenzte fortdauern würde.[2]) Die Dauer der Wirkung ist nun, wie wir oben gesehen haben, ein empirisches Moment, das auf Rechnung derjenigen Erscheinungen einzutragen ist, auf die eine Ursache einwirkt. Wie das Verharren der magnetischen Kraft, die sogenannte Koerzitivkraft, im oben angeführten Beispiele auf die stoffliche Eigentümlichkeit des Stahles zurückgeführt oder wie die Phosphoreszenz, d. h. die fortdauernde Fluoreszenz, durch logisch nicht weiter zurückführbare Eigenschaften mancher Körper bedingt ist, so ist für das Beharren der gleichförmigen Bewegung, d. h. für die Trägheit, die qualitative Eigenschaft der Masse allein als bestimmendes Moment anzusehen. Das Trägheitsprinzip ist also Verabsolutierung eines empirisch möglichen und teilweise verwirklichten Falles; nur die Astronomie kennt in der gleichförmigen Bewegung der sogenannten Fixsterne einen Vorgang, der dem idealen Falle nahekommt; ob er ihn vollständig verwirklicht, bleibt problematisch. Das schränkt jedoch die Gültigkeit des Prinzips durchaus nicht ein. Ist es doch konditional ausgesprochen: eine gleichförmige Bewegung im Sinne des idealen Gesetzes würde eintreten, wenn gewisse Bedingungen erfüllt wären, also wenn der bewegliche Körper nicht von einer Kraft abhängig wäre. Und eben weil der Körper von tausend Umständen abhängig ist, ist der Schluß berechtigt, daß, wenn durch Grenzprozesse alle anderen bestimmenden Momente weggedacht würden, die Bewegung im

[1]) Galilei: Unterredungen und mathematische Demonstrationen, übersetzt von Oettingen, S. 67.

[2]) Barth macht die Anregung seitens Nicolaus von Cues wahrscheinlich. („Zum Gedächtnis des Nicolaus Cusanus“ in „Vierteljahrsschrift für wissenschaftl. Phil.“, 1901, S. 494.)

Sinne des Prinzips ausfallen würde. Das Gesetz ist erst dann falsch, wenn es dogmatisch ausgesprochen wird: daß es in der Wirklichkeit „eigentlich“ so sein „sollte“, wie sie der ideale Fall schildert; das ist aber jener verwerfliche Idealismus, der methodische Prinzipien zu absoluten Realitäten erhebt und die sinnliche Wirklichkeit deshalb für Schein und Trug ausgibt. Es drückt sich in diesem hypothetischen Ausdruck ein Moment des Prinzips aus, welches es zu einer methodischen Idee erhebt, wie wir dies auch bei dem Energieprinzip finden werden. Denn das Wirkliche wird durch das „ist“, das Methodische durch das „würde“ ausgedrückt.

Die beschleunigte Bewegung kann methodisch als durch Summation von Impulsen entstehend, gedacht werden. Wenn ein Körper in einem ersten Zeitteilchen beispielsweise 5 cm durchläuft, so würde er, wenn keine Kraft mehr auf ihn wirkte, auch im nächsten Augenblick denselben Weg zurücklegen; nun fügt sich aber die beschleunigende Kraft hinzu, die ihm eine Bewegung erteilt, daß er im folgenden Zeitteilchen den dreifachen Weg durchläuft; und wieder würde der Körper, wenn die Kraft nicht mehr auf ihn wirkte, in diesem Tempo verharren, aber die beschleunigende Kraft wirkt weiter, er macht also 25 cm in der dritten Sekunde usw. Der Weg nach einer gewissen Zeit berechnet sich gemäß der Formel: $s = {}^1/_2\, a t^2$.

Nun kommt der Begriff der Richtung hinzu. Das zweite Gesetz von Newton belehrt uns, daß wie die Ursache, d. h. die Kraft, für die Bewegungsgröße, so auch für die Bewegungsrichtung bestimmend ist. Welche Richtung von allen möglichen und wirklichen kann nun als methodische Grundlage aller anderen ausersehen werden? Da die Kraft das bestimmende Moment ist, so wird anzunehmen sein, daß *eine* Kraft nur in *einer* Richtung wirkt; wenn mehrere Kräfte zusammenwirken, so werden Bewegungen in mehreren Richtungen zugleich stattfinden; *eine* Kraft würde aber, in *einem* Zeitpunkt auf *einen* Körper einwirkend, nur in *einer* Richtung ihn bewegen können. Wie das Denken methodisch den Begriff des Impulses

und der Geschwindigkeit erschafft, so jetzt den Begriff der geradlinigen Bewegung. Galileis Worte: „natura uti consuevit mediis primis, simplicissimis et facillimis“ charakterisieren vortrefflich das methodische Verfahren des Denkens: so handelt die Natur des Verstandes. Sie sind aber nicht auf die Natur zu übertragen, denn dann treibt man eine ungeheure Metaphysik im Sinne jenes Idealismus, den wir oben erwähnt haben. Die gleichförmig-geradlinige Bewegung ist nicht deshalb, weil sie als Bezugseinheit gewählt wird, eine natürlichere Bewegung als die krummlinige oder ungleichförmige, wie leider oft behauptet wird. Die geradlinige Bewegung ist durchaus nicht natürlicher, als die Wurf- oder Kreisbewegung. Ist nicht die Natur reich genug, um tausend Kräfte auf einen Körper wirken zu lassen, so daß er in jedem Augenblick seine Bewegungsrichtung ändert? Das ist gerade am häufigsten der Fall; aber eben deshalb dürfen wir für die gedankliche Beherrschung der Erscheinungen die Umstände nach den mathematischen Prinzipien vereinfachen und annehmen, daß wenn nicht eine der Richtung nach veränderliche Kraft, sondern eine stets die ursprüngliche Bewegungsrichtung innehaltende Kraft wirken würde, die Bewegung geradlinig wäre. Ein Körper würde also durchaus nicht „von selbst“ die geradlinige Bahn wählen, sondern nur dann wäre das der Fall, wenn auf ihn eine bestimmte Art der Kraft wirken würde. Gewöhnlich wird das Trägheitsgesetz so formuliert: wo keine Kraft einwirkt, bewegt sich der Körper gleichförmig in geradliniger Bahn. Was ist dann aber für ein Unterschied zwischen der Bewegung und der Ruhe? Um im Zustande der Ruhe, d. h. der Bewegungslosigkeit zu verharren, braucht der Körper keine Kraft; die Ruhe tritt eben ein, wo sich die Kräfte aufgehoben haben; aber sollte auch der bewegliche Zustand ohne eine vorhergehende Kraftwirkung möglich sein? Dies widerstreitet allen Denkprinzipien, denn Null und Eins (oder eine andere Zahl) welcher qualitativen Größeneinheit (ob rein gedanklicher oder Bewegungseinheit) sie auch sein mögen, sind von einander

verschieden und können nicht einander oder einem Dritten gleichgesetzt werden. Das Prinzip muß also diesen Sinn haben: wo keine neue Kraft mehr einwirken, d. h. in jedem beliebig kleingedachten Zeitteilchen derselbe Kraftimpuls fortwirken würde, da wäre es verwirklicht. (Darstellbar durch die Abhängigkeit von der Raumlage.) Dieser Ausdruck ist methodisch sehr empfehlenswert: man entgeht dann dem Gedanken einer leeren, stehenden Zeit, die bloß zur Parade errichtet ist, und kommt zur folgenden Deutung des Beharrungssatzes: ein physikalisches System erleidet von Augenblick zu Augenblick eine Veränderung: nur im idealen Falle haben wir Ruhe;[1]) sonst aber erleidet es entweder eine quantitativ gleichmäßige Ortsverschiebung (Trägheit) oder auch eine qualitative Veränderung (Beschleunigung). Dadurch vermeidet man den Zwiespalt zwischen der Einsinnigkeit des Zeitablaufes und der scheinbar davon völlig unberührten mit sich identisch bleibenden Erscheinungen. Diese Korrektur, obzwar nur den Ausdruck betreffend, ist methodisch geboten; auch entspricht sie historisch dem Falle, durch den Galilei auf das Prinzip gekommen ist, denn so etwa war der Gedankengang:[2]) Bewegt sich ein Körper nach der Erde, so erfährt er jeden Augenblick eine Beschleunigung, bewegt er sich nach oben, so erleidet er jeden Augenblick eine Verzögerung, bewegt er sich dagegen horizontal, so wird auf ihn — so können wir in Galileis Geiste hinzufügen — in jedem Augenblick derselbe frühere geschwindigkeitverleihende Kraftimpuls fortwirken. Erst später hat man an Stelle des Begriffs „desselben Kraftimpulses in jedem Augenblick“ den Begriff „keine Kraft“ gesetzt. Durch den Ausdruck des Kausalprinzips wird diese Gleichsetzung

[1]) Jeden empirisch-aufzeigbaren Ruhezustand kann man mit Galilei und Leibniz „als eine unendlich kleine Geschwindigkeit betrachten“. [Vgl. Leibniz: Hauptschriften zur Grundlegung der Philosophie I. S. 86.] Dies entspricht auch der modernen kinetischen Theorie der Wärme, wie der chemischen R-G-T-Regel von vant' Hoff.

[2]) Mach: l. c. S. 140, 6. Auflage.

begünstigt: das Prinzip „Gleiches bedingt Gleiches“ läßt sich auf beide Fälle erstrecken. Es ist aber ein gewaltiger Unterschied, ob die Gleichheit sich auf den als veränderungslos gedachten Zustand der Ruhe bezieht, wo sie analytische Identität bedeutet, oder sie sich in der Veränderung (der Bewegung) also als synthetische Identität erhält (analytische und synthetische Identität haben hier nur übertragene Bedeutung.)

Die Kraft wird durch die Bewegungsgröße definiert: da aber der bewegte Körper seinerseits als weitere Wirkung Widerstände überwinden kann, so kann die Kraft durch die Wirkung ihrer Wirkung gemessen werden, denn die Gleichheit beherrscht alle Glieder einer Erscheinungskette. Dieser praktisch allein ausführbare Weg, die Kraftmessung durch den überwundenen Widerstand, wird von vielen Physikern auch in der Theorie empfohlen (zum Beispiel d'Alembert).

Die konstante Beziehung zwischen Kraft und Beschleunigung heißt Masse. Die Masse verliert also viel von ihrer Anschaulichkeit, wenn sie mathematisch definiert wird. Von einem Dinge (der Begriff des Dinges wird vornehmlich von der Masse abstrahiert), das bloß zu sein scheint, wird sie zu einem Beziehungsbegriff. Von dem Begriff der Masse kann man methodisch das Wechselwirkungsprinzip durch folgende Überlegung ableiten: eine Kraft erteilt einer Masse m_1 die Beschleunigung g_1, dieselbe Kraft verleiht einer anderen Masse m_2 die Beschleunigung g_2. Wirken die beiden Massen wechselsweise auf einander, so wirkt auf beide dieselbe Größe p der Kraft, und es ist infolge der konstanten Beziehung:

$$\frac{p}{g_1} = m_1$$

und

$$\frac{p}{g_2} = m_2.$$

Wir schreiben statt dessen: $m_1 : m_2 = g_2 : g_1$, also $m_1 g_1 = m_2 g_2$; so erhalten wir das Wechselwirkungsprinzip. Ein Körper von der Masse m_1 erleidet von der Erde zum Beispiel eine

Beschleunigung g_1 und die Erde von der Masse m_2 erhält durch die Anziehung die Beschleunigung g_2, wobei g_1 und g_2 sich umgekehrt wie m_1 zu m_2 verhalten. g_2 ist im Vergleich mit g_1 ebenso verschwindend, wie m_1 im Vergleich zu m_2, deshalb wird nur die Anziehung durch die Erde wahrgenommen; in der Natur wird aber nach der Gravitationsformel auch die Erde und jeder Körper überhaupt durch jedes kleinste Massenteilchen angezogen. Bei der magnetischen Anziehung, (auf die sich Newton als Beispiel beruft), wird diese Fundamentalerscheinung unmittelbar wahrgenommen. Als beobachtbare Tatsache ist die Wechselwirkung nicht weiter erklärbar, wenn sie auch einer methodischen Ableitung fähig ist.

Neben der Größe, Richtung und Masse, an die sie gebunden ist, charakterisiert sich die Bewegung noch durch ihren Angriffspunkt. Hier werden die Erscheinungen objektiviert und begriffen durch eine Leistung der Kategorie der Zusammensetzung. Oben ist mit ihrer Hilfe der Begriff der Kraft als Summation von Impulsen zustande gebracht worden, hier wird sie nun auf fertige Kräfte und Bewegungen angewandt. Wir gelangen auf diese Weise zum Prinzip der Zusammensetzung der Kräfte, das nach d'Alembert[1]) neben dem Trägheits- und Gleichgewichtsprinzip das fundamentalste Gesetz der Mechanik bildet. Die Trägheit wurde bereits behandelt und hat sich durch den angewandten Funktionsbegriff methodisch objektivieren lassen. Von dem Gleichgewicht, das bereits als Null an Bewegung erwähnt wurde, wird sich alsbald nochmals zeigen, daß es durch die Kategorie der Zerlegung, welche eine inversive Operation der in gleicher Kategorie enthaltenen Zusammensetzung, vollständig erschöpft werden kann. Es ist also überflüssig, es dem Prinzip der Zusammensetzung der Kräfte an die Seite zu stellen, da es sich mit ihm zugleich ergibt. Das Prinzip der Zusammensetzung tritt in zwei Formen auf: je nach dem Sinne des die

[1]) d'Alembert, l. c. S. XI.

räumliche Ordnung auszeichnenden Richtungsbegriffs. Entweder schneiden sich die Kräfte nicht, sondern wirken parallel, dann ist die Resultante eine gewöhnliche arithmetische Summe der beiden Kräfte, die sich in dem sogenannten Mittelpunkt der Parallelkräfte vereinigen — oder die Kräfte schneiden sich unter einem gewissen Winkel und dann berechnet sich die Größe aus der geometrischen Figur, welche die durch Geraden darstellbaren Kräfte oder Bewegungen bilden. Auch hier ist es die Kategorie der Zusammensetzung, welche die Objektivierung und Begreiflichkeit vollbringt, nur angepaßt an die räumlichen Verhältnisse, in unserem Falle an den denkfremden[1]) Begriff der Richtung und der geometrischen Figur, die aber, weil sie bereits in der Geometrie feststehen, oft als apriorische Begriffe in der Mechanik angenommen werden, obwohl sie es nur im übertragenen (für die Mechanik apriori), nicht aber im strengen Sinne des Begriffs sind (an sich apriori, ohne Rücksicht auf mögliche Anwendung). Daher ist es nicht die gewöhnliche algebraische Summe oder Differenz, sondern die den räumlichen Verhältnissen angepaßte geometrische, welche die sich schneidenden Kräfte bilden. Den Zusammenhang mit der Kategorie der Zusammensetzung hat am deutlichsten Lagrange ausgesprochen. Nachdem er Varignons Versuch, aus diesem Prinzip die gesamte Dynamik abzuleiten, erörtert hat, fügt er hinzu: „Der große Vorteil des Varignonschen Prinzips besteht darin, daß die Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte auf Additionen und Subtraktionen zurückgeführt wird, derart, daß, welches auch die Zahl der zusammensetzenden Kräfte sei, man leicht die resultierende Kraft findet, welche im Falle des Gleichgewichts gleich Null ist".[2]) Hier ist auch das Gleichgewichtsprinzip als ein besonderer Fall, der sich aus der Kategorie

[1]) Der Begriff des „denkfremden" ist als philosophischer Terminus zuerst von Jonas Cohn eingeführt worden (s. Voraussetzungen und Ziele des Erkennens).

[2]) Lagrange: l. c. S. 16.

der Zusammensetzung ergibt, erkannt. Und in der Tat können wir das Prinzip der Zusammensetzung algebraisch ausdrücken durch $a + b = c$, das Prinzip des Gleichgewichts als $a - b = o$.

Kehren wir zur Betrachtung der Kraft- und Bewegungsgröße zurück. Die Grundgleichung der Mechanik lautet: $m \frac{d^2 s}{dt^2} = X$ (oder p) oder für die gleichförmig beschleunigte Bewegung, wenn dabei v die in der Zeiteinheit aus der Ruhe heraus gewonnene Geschwindigkeit bedeutet: $mv = p$. Die nächste Entwicklung dieses Begriffs vollzieht sich, indem wir eine weitere Eigenschaft der Kraft heranziehen: wir achten darauf, daß der zuletzt behandelte Angriffspunkt der Kraft räumlich verschoben wird. Statt der Gleichung $p = mv$ haben wir, wenn v die in der Zeit t gewonnene Geschwindigkeit bedeutet, $pt = mv$. Wenn wir nun die Zeit durch räumliche Begriffe ausdrücken, weil es sich jetzt um eine räumliche Verschiebung handelt, also $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$ setzen (folgt aus der Formel: $s = \frac{gt^2}{2}$), so werden wir, mit Rücksicht darauf, daß $p = mg$ ist, die angegebene Formel durch folgende ersetzen können: $ps = \frac{mv^2}{2}$. Der zur linken Seite stehende Ausdruck bezeichnet Arbeit oder potentielle Energie, der zur rechten Seite aktuelle Energie oder lebendige Kraft. So erhalten wir den Grundbegriff der Energetik, die Arbeit, welche sich durch ihre sinnliche Konkretheit, weil sie für räumliche Verschiebungen eintritt, von dem abstrakten Kraftbegriff, der auf die Zeit bezogen ist, unterscheidet.

Der Begriff der Arbeit stammt von Poncelet, der Begriff der lebendigen Kraft von Leibniz, der der Energie von Young; die Ausdrücke: potentielle und kinetische Energie hat Rankine eingeführt.[1])

[1]) Nach verschiedenen Autoren.

Auf folgende Weise hat Leibniz den Begriff der Arbeit — die er noch Effekt nennt — eingeführt und gegen Descartes als die eigentlich beharrende Naturgröße erwiesen. Die Erhaltung der lebendigen Kraft unterordnet er dem Kausalgesetz, das er für ein apriorisches Denkprinzip hält, zeichnet sie aber als solche Form des kausalen Geschehens aus, bei der die Wirkung „selbst eine wirkende Naturkraft ist und deren Erzeugung den vorhandenen Antrieb schwächt“.[1]) Man muß dazu bemerken, daß die Fähigkeit einer Erscheinung Ursache zu werden nicht mehr apriori zu deduzieren, sondern einer Wahrnehmung zu entnehmen ist, wenn auch die anzeigende Wahrnehmung mittels apriorischer Prinzipien objektiviert werden muß. Leibniz findet nun, daß die lebendige Kraft allein einmal als Ursache und einmal als Wirkung auftritt. Die so charakterisierte lebendige oder bewegende Kraft unterscheidet er — und darin dürfte sein Hauptverdienst in dieser Frage liegen — von der Bewegungsquantität, deren Unzerstörbarkeit Descartes behauptet hatte. Leibniz sieht in der Bewegungsquantität ein bloßes Rechnungsmittel[2]) d. h., von unserem Standpunkte, einen methodischen Schritt zur gedanklichen Beherrschung der Erscheinungen, nicht aber den Ausdruck der vollen Wirklichkeit. Diese wird erst erreicht, wenn man auf die räumliche Verschiebung des Angriffspunktes achtet d. h., wenn man die momentanen Bewegungen, die allein in der Bewegungsquantität zum Ausdruck kommen[3]) integriert. Der Effekt eines anfänglichen Bewegungsimpulses (motion bei Leibniz), der sich z. B. bei der Aufwärtsbewegung aufzehrt, stellt sich dann dar als der zurückgelegte Weg, womit erst der Wahrnehmungsinhalt getroffen wird. Ist also bewegende Kraft und Bewegungsquantität nicht dasselbe, sondern wird die erste durch ps gemessen, dann lautet ihr mathematischer Ausdruck nicht mv, sondern mv^2 (später nahm man bloß ein halbes

[1]) Hauptschriften zur Grundlegung der Philosophie, 1. Band, S. 255.
[2]) l. c. S. 263.
[3]) l. c.

Produkt an), da der Weg nicht der Geschwindigkeit, sondern dem Quadrate derselben proportional ist. — Wenn also zwei Arbeitsmengen einander gleich sind, wie das bei den Maschinen der Fall ist, so müssen doch die durch sie erzeugten, oder die sie erzeugenden Geschwindigkeiten $[v, v_1]$ nicht gleich sein. Wohl aber sind die beiden Bewegungsenergien, welche durch diese Arbeiten verursacht wurden, oder sie zur Wirkung hatten, der Größe nach mit einander identisch, $\left[\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m v^2}{2}\right]$, denn wie die Wege den Quadraten der Geschwindigkeiten direkt, so sind bei demselben Weg und bei derselben Endgeschwindigkeit die Massen den Kräften proportional. So dehnt sich das Prinzip der Erhaltung der Arbeit $[p_1 s_1 = p s]$ auch auf die sie verursachende oder durch sie verursachte Bewegungsenergie aus $\left[p_1 s_1 = \frac{m_1 v_1^2}{2}\right]$.

B. Die Energetik.

1. Erkenntnistheoretische Betrachtungen.

Mit der Wahrnehmung derjenigen Erscheinung, welche, methodisch erforscht, Arbeitsleistung der bewegten Körper heißt, beginnt die sinnliche Erkenntnis, der die Energie als gegebene Tatsache gilt. Indem wir aber diesen Wahrnehmungsinhalt in das Netz methodischer Überlegungen hineingezogen haben, ist uns die Energie in einem anderen und allein begreiflichen Sinne Tatsache; von einer physischen Tat der Sachen, ist sie uns zur Sache gedanklicher Taten geworden und in den Zusammenhang mit den allgemeinsten methodischen Sätzen der objektiven Erfahrung eingegangen.

Nachdem die Bewegungserscheinungen unter Anweisung der Kategorie des bestimmten Stellenwertes, welche vorzüglich die Rolle einer einführenden Kategorie besitzt, isoliert wurden, stießen wir auf den Impuls, den wir dem Begriffe der bedingenden Variablen entsprechen ließen, weil dieser allein die

Gewähr enthält, den Beziehungen veränderlicher Größen die theoretische Gewißheit und Begreiflichkeit zu verleihen. Dann wandten wir die anderen Methoden der Objektivierung an und ließen die Kraft stetig anwachsen, sich aus Impulsen zusammensetzen, so daß als ihre Wirkung, die der Größe und der Richtung nach vollständig durch die Kraft bedingt ist, sich nunmehr die Beschleunigung ergab. Dieselben Kategorien sind dann zur Rationalisierung des Richtungsbegriffes, nachher des Angriffspunktes und zuletzt der Verschiebung des Angriffspunktes herangezogen worden. Das letzte Moment stellt diejenige Phase dar, in welcher das Prinzip der Erhaltung der Arbeit entsteht. Also ergab sich der Satz von der Aequivalenz zwischen der potentiellen Energie und der lebendigen Kraft auf diese Weise, daß die Kategorien, die einzig sicheren Objektivierungsprinzipien, auf immer neue, der Wahrnehmung entnommene, aber zuvor bereits isolierte Erscheinungsgrößen angewandt wurden. Das Ergebnis dieser Methodisierung ist eine immer umfassendere Bereicherung der Erkenntnis des Empirischen und zugleich eine Befestigung desselben in unserem Geiste, gleichsam eine Auflösung des Sinnlichen in die geistige Bedeutung der kategorialen Denkfunktionen, wodurch es in den unverlierbaren Besitz der Wissenschaft, die ja nur im Geiste und für den Geist Sinn und Bedeutung hat, übergeht.

Die Erhaltung der lebendigen Kraft erweist sich also als ein empirisch besonderer Fall des allgemeinen Gedankens der Erhaltung, den jeder mathematischer Begriff atmet; denn nicht nur gilt von der lebendigen Kraft, daß sie sich erhält, sondern auch die Geschwindigkeit und Richtung (Trägheitsgesetz) und so auch der Angriffspunkt (Erhaltung des Schwerpunktes) bleiben konstant und wenn dieser verschoben wird, so gilt auch von der neugeschaffenen Lage, der potentiellen Energie, daß sie sich erhält. Denn erhalten muß sich alles, was Größe ist, ob es rein gedankliche Zahlengröße, Bewegungsgröße oder Arbeitsgröße ist. Also ist die zahlenmäßig ausdrückbare Gleichung zwischen Energiegrößen, die sich

durch die qualitativen Maßeinheiten von einander unterscheiden, der adäquate Ausdruck des Energieprinzips in seiner objektiv-empirischen Form.[1]) Wir sind aber erst in der Mechanik; nun gilt es die Gleichung auf die anderen Gebiete der physikalischen Naturerscheinungen auszudehnen. Vorerst seien einige erkenntnistheoretische und historische Betrachtungen gestattet.

Wir können folgende Hauptformen von Gleichungen, die in der Naturwissenschaft von Bedeutung sind, unterscheiden: 1. Summationsgleichungen: Hierher gehören die chemischen Formeln, welche die Zusammensetzung und Erhaltung der Molekulargewichte der Elemente in der Verbindung darstellen. 2. Kausalgleichungen, welche konstante Beziehungen zwischen zwei sich in der Zeit folgenden Erscheinungen aussagen. Diese zerfallen in zwei Klassen: a) In einfache Kausalgleichungen, wie die periodisch funktionelle Beziehung gewisser chemischer und physikalischer Eigenschaften der Elemente zu ihren Atomgewichten, die Beziehung von Druck zu Temperatur usw.; b) in substantielle Kausalgleichungen, in denen Glieder auftreten, auf die alle Erscheinungen beziehbar sind, die also von universeller Geltung sind. Die energetischen Kausalgleichungen bilden solche.

Die Energiegleichungen unterscheiden sich außerdem von den einfachen Kraftbeziehungen durch den leichter aufzeigbaren Wirklichkeitscharakter, d. h. durch ihre größere Sinnenfälligkeit, welchem Umstande die sogenannte qualitative Energetik ihre einnehmende Klarheit verdankt. Allerdings erkauft diese Theorie ihre Anschaulichkeit durch Verzicht auf nähere Einzelerklärungen. Der Raum besitzt eine größere Überzeugungskraft als die Zeit. „Sind mechanische Energien solche, die mit räumlichen Veränderungen verbunden sind, so werden wir so viele verschiedene Formen zu erwarten haben, als räumliche

[1]) Helm: Die Energetik in ihrer historischen Entwicklung. S. 20. Cassirer: Der Substanzbegriff und der Funktionsbegriff. S. 254.

Begriffe anwendbar erscheinen.“ [1]) Nach diesem Einteilungsgrunde unterscheidet Ostwald Form-, Volum- und Flächenenergien. Die Arbeit verwandelt sich in Formenergie — mit dieser Formel erledigt Ostwald das ganze Problem der Elastizität. Wie die Energetik dem Ausgang von Raumformen ihre Anschaulichkeit verdankt, die besonders von Poincaré gerühmt wird,[2]) so wird sie doch zuletzt unanschaulich, was Wundt[3]) namentlich hervorhebt, indem sie uns keinen Einblick in die Einzelvorgänge, die zum Beispiel in einem elastischen Körper stattfinden, gewährt. Dieser Einwand scheint uns völlig gerechtfertigt, wenn wir auch Wundts Ansicht, daß die Energetik einen Rückfall von der quantitativen Behandlung der Naturvorgänge in die überwundene Phase der qualitativen Betrachtung, wie sie die aristotelische Physik auszeichnet, bedeutet, nicht beitreten können.[4]) Die qualitativen Formen der Energetik haben mit Aristoteles' sinnlichen Qualitäten nur den Namen gemeinsam: es ist die Zweideutigkeit des Qualitätsbegriffs, der diese Mißverständnisse hervorruft. Qualitäten in dem Sinne, in welchem die Energetik den Begriff gebraucht, sind auch in der rein mechanischen Naturauffassung eingebürgert. Die Energetik verzichtet durchaus nicht auf mathematische Behandlung — sieht doch Cassirer zum Beispiel in seinem oben angeführten Werke den charakteristischen Zug der Energetik eben darin, daß sie die Energiebeziehungen rein zahlenmäßig darstellt — und ihre Qualitäten sind nicht den Sinnen entnommen, sondern es sind vielmehr die qualitativ von einander verschiedenen Maßeinheiten, auf welche die Energetik zurückgeht.[5]) Und nur darin liegt der große

[1]) Ostwald: Grundriß der Naturphilosophie 154/5.
[2]) Poincaré: Science et hypothèse.
[3]) Wundt: System der Philosophie, II. Band, S. 58. 3. Auflage.
[4]) Physiologische Psychologie, III. Band. 6. Auflage. Schlußkapitel. S. 689.
[5]) Driesch scheint übrigens das Richtige zu treffen, wenn er die Energetik als eine Synthese der aristotelischen mit der mathematischen Wissenschaft bezeichnet — ganz im Leibnizschen Sinne — kann man hinzufügen. (S.: Naturbegriffe und Natururteile, S. 53.)

Unterschied zwischen der rein mechanischen und der qualitativen Energetik, daß die letzte eine viel größere Zahl von Maßeinheiten annimmt, als die erste, und daß sie diese der Anschauung entnimmt, zugleich aber sich mit sehr allgemeinen Angaben über die Beziehungen begnügt, indem sie nicht nach der Art und Weise, wie ein Naturvorgang verläuft, sondern bloß nach seiner Leistung, nach seinem Energieertrag fragt. Zu diesem Mangel einer genaueren Analyse der Naturvorgänge, der von jedem Erkenntnisdürstigen stark empfunden werden muß, tritt als zweite Schwäche die Unbestimmtheit des Ausgangspunktes hinzu. Denn wenn man Ostwalds oben angeführtes Programm streng durchführen wollte, könnte man leicht in Paradoxien verfallen. Man könnte nämlich, von den räumlichen Verschiedenheiten ausgehend, die Energien danach einteilen, ob sie an runde Körper gebunden sind, oder an ebene Flächen, oder an punktuelle Massen. Denn auch dieser Einteilungsgrund wäre der räumlichen Anschauung entnommen. Die Energien sollen aber nicht nach Gesichtspunkten eingeteilt werden, die ihnen als Energien gewissermaßen zufällig sind, wie nach den räumlichen Verhältnissen zum Beispiel, sondern vielmehr nach Momenten, die ihnen wesentlicher sind. Dieser Gesichtspunkt ist in der modernen Physik durchgeführt und danach unterscheidet man zwei universelle Energieformen: materielle und elektromagnetische Energien; das sind ihre sekundären Qualitäten. Die moderne Physik ist also gleichweit von einer rein mechanischen, wie auch von einer qualitativ energetischen Naturauffassung entfernt. Für die Mechanik zieht sie die Energiegleichung $ps = \frac{mv^2}{2}$ der Kraftgleichung $pt = mv$ vor.

Bekanntlich waren diese Formeln im 17. und 18. Jahrhundert Gegenstand eines heftigen Kampfes zwischen Leibniz und Descartes und ihren Anhängern „über das wahre Maß der Kräfte“, bis d'Alembert in der Einleitung zu seinem „Traité de dynamique“ den Streit schlichtete, indem er zeigte, daß

keines von beiden das allein wahre, sodern jedes das gleich richtige Maß der Kräfte ist, je nachdem man ihre Wirkung der Zeit oder dem Raume nach betrachtet. In diesem Bezogensein auf Zeit und Raum scheint auch der einzig angebbare Unterschied zwischen Kraft und Energie zu bestehen. Die Kraftgleichungen würden, prinzipiell genommen, viel vollständiger sein als die Arbeitsgleichungen, weil sie über die kleinsten (die molekularen) Bewegungen Rechenschaft geben könnten. Antrieb (Bewegungsgröße) und Arbeit verhalten sich zueinander nach einem Gleichnis von Hartmann[1]) wie Zeitlöhne zu Stücklöhnen.

So ist also $ps = \frac{mv^2}{2}$ die mechanische Energiegleichung, welche zugleich den Ausdruck einer kausalen Beziehung zwischen der Arbeit und der lebendigen Kraft darstellt. Gegen diese Auffassung wendet sich nun Petzoldt.[2]) Petzoldt meint, diese Beziehung betreffe nicht „zwei", sondern bloß „einen" Vorgang und ein Vorgang wird von ihm ein Vorgang genannt, wenn sich eine Gleichung zwischen seinen Elementen aufstellen läßt.[3]) Es ist aber immer Sache der Willkür, was man mit der Zahl Eins und was mit Zwei belegen soll. Jedenfalls wäre damit nur ein Ausdruck von Wundt, gegen den sich Petzoldt wendet, nicht aber der Sinn der Energiegleichung getroffen, denn daran, daß die Gleichung zwei verschiedene Elemente in eine Beziehung zu einander setzt, kann kein Zweifel sein. Aber auch das muß als Sinn der Kausalgleichung feststehen, daß die zwei Elemente zeitlich sich folgen: die potentielle Energie verschwindet, wenn die lebendige Kraft entsteht, und so auch verschwindet die Arbeit, wenn Wärme erzeugt ist. Das scheint eben der Hauptfehler von Petzoldt zu sein, daß er meint „die physikalischen Gleichungen sind in

[1]) Hartmann: Die Weltanschauung der modernen Physik. S. 92.

[2]) Petzoldt: Vierteljahresschrift für wissenschaftl. Phil. 1895. 19. Jahrgang: Das Gesetz der Eindeutigkeit.

[3]) l. c. S. 275.

demselben Sinne Gleichungen, wie es alle anderen sind, also wie diejenigen, die sich auf rein geometrische Größen beziehen oder endlich rein algebraisch sind".[1]) Wie es aber neben der arithmetischen noch den Begriff einer geometrischen Summe gibt, wie das Parallelogramm der Kräfte nicht lediglich ein Parallelogramm bedeuten, sondern auf eine geometrische Weise die realen Erscheinungen darstellen will, um auf sie die geometrische Gesetzmäßigkeit übertragen zu können, so bedeuten auch die Kausalgleichungen, in die wirkliche Elemente oder Vorgänge als Faktoren eingehen, nicht schlechtweg algebraische Gleichungen, die aprorisch und rein gedanklich sind, sondern eine Beziehung der wirklichen Erscheinungen in der gesetzlichen Form der Gleichung, wodurch den Erscheinungen die Gewißheit der algebraischen Formen, auf die sie gebracht werden, zuteil wird. In die Erscheinungen geht aber als empirisches Moment das Verhältnis der Sukzession ein und diese Sukzession muß die Kausalgleichung bedeuten wollen; natürlich muß nicht eine gegebene Gleichung etwas davon enthalten, und insbesondere muß nicht die eine Seite bloß die vorhergehende, die andere bloß die folgende Erscheinung bezeichnen (darin kann in Petzoldts Kritik der Wundtschen Ansicht zugestimmt werden), auf jeden Fall aber muß ihr dieser Sinn implizite innewohnen. Neben der Aussage, daß „zwei aus verschiedenen Maßzahlen zusammengesetzte Rechnungsausdrücke einander gleich sind",[1]) muß also die Kausalgleichung noch den Hinweis auf ein zeitliches Verhältnis enthalten, welches zwar als ein universelles gewissermaßen nicht besonders numeriert zu werden braucht, aber doch hineingelesen werden muß.

Der Grund, weshalb man immer die zeitlichen Unterschiede aus den Kausalgleichungen streichen möchte, scheint darin zu liegen, daß die analytische Funktionalgleichung nichts davon enthält; aber dieses zeitliche Moment geht in die Naturkausalität ein, indem auf die regelmäßig sich folgenden Erscheinungs

[1]) l. c. S. 156.

größen (unter vorangegangener Isolierung aller anderen Umstände) der mathematische Funktionsbegriff übertragen wird. Für die Kausalgleichung der Naturwissenschaft ergibt sich also folgende Formulierung: für zwei bestimmte zeitlich regelmäßig sich folgende Erscheinungen ist eine Gleichung zu jeder Zeit gültig. Wie so oft wird auch hier, in dem Kausalprinzip, die unveränderliche Gültigkeit des Satzes mit der Unveränderlichkeit des Seins verwechselt, während doch die Veränderung das Wesen der Naturkausalität ausmacht.

Merkwürdig genug hat das auch Mach übersehen. Dieser große Positivist nähert sich in diesem Punkte entschieden dem Rationalismus eines Spinoza, der auch die ganze Natur restlos in Geometrie auflösen wollte, und dem die Zeit zu einem unbegreiflichen auxilium imaginationis wurde, der uns um die adäquate Erkenntnis des ewigen, unveränderlichen Seins bringt, als wenn die zeitlichen Verhältnisse sich nicht als unveränderlich erweisen könnten und die Veränderlichkeit selbst keine Seite des Seins wäre. Mach ist ebenso bestrebt zu zeigen, daß die Kausalität, an der er Altes neu auszusetzen hat, in gegenseitiger Abhängigkeit völlig aufgeht. „Die Welt ist nur einmal da“ [1]) ist seine These. Die Einmaligkeit schließt aber keine Veränderung aus und die Veränderungsrichtung ist, sowohl nach der Anzeige unseres unmittelbaren Gefühls, wie auch nach dem erkenntnistheoretischen Sinne des zweiten Hauptsatzes der Wärmelehre, eine einsinnige, folglich ist die gegenseitige Abhängigkeit nicht der adäquate Ausdruck des naturangewandten Kausalprinzips. Übrigens müßte Mach, er vor allen Anderen, die Sukzession betonen; denn für ihn ist der Begriff eine Regel, die uns anweist gewisse sinnliche Handlungen auszuführen.[2]) Würde aber die Kausalgleichung kein zeitliches Verhältnis bedeuten, so ließe sich das in ihr Ausgedrückte

[1]) Die Mechanik, S. 524.

[2]) Zur Analysis der Empfindungen 1906, 5. Auflage. Prinzipien der Wärmelehre 1900, 2. Auflage, S. 420.

nicht vollziehen, weil nicht bloß wir uns subjektiv in dem „zuerst und dann“ bewegen, sondern auch objektiv ein Vorgang nicht eintritt, wenn nicht die Bedingungen geschaffen sind, die ihm vorangehen. Man kann nicht beliebig das Eine auf das Andere folgen lassen, sondern ganz eindeutig, und der logische Ausdruck der Eindeutigkeit eines Kausalverhältnisses ist die zeitliche Sukzession. Wenn die Kausalität ein produktives Wirken wäre — was aber der Machschen Ansicht durchaus widerspricht — so könnte allerdings zugegeben werden, daß die Sukzession für sie etwas Unwesentliches ist. In methodischer Hinsicht ist sie jedoch ein notwendiges Bewußtseinsmittel, um die empfundene Einsinnigkeit des Naturgeschehens logisch auszudrücken. Insofern muß in die Kausalform das Sukzessionsverhältnis eingehen. Es muß eben die Ursache zuerst eine Veränderung erleiden, wenn die von ihr abhängige Erscheinung variieren soll. Wird daher die Veränderung einer Erscheinung wahrgenommen, so muß diese auf eine Variation des Argumentes (oder der Ursache), der sie der Größe nach proportional oder gleich ist, zurückgeführt werden. In diesem Zurückführenmüssen einer Veränderung auf eine ihr sub specie der idealisierten Zeitform vorangegangene, erschöpft sich die Rolle des Kausalprinzips und zeigt sich seine methodische Natur. Die methodische Natur: denn das Zurückführenmüssen ist im philosophischen Sinne — aber auch nur in diesem — kein unbedingtes, sondern setzt den Willen, die Erscheinungen auf allgemein-giltige — also auf mathematische — Weise zu begreifen, voraus: der Erkenntniswille ist das Prius, von dem gewöhnlich abstrahiert wird.

Die Formel $ps = \frac{mv^2}{2}$ hat also den Sinn einer Kausalgleichung, und zwar einer substantiellen Kausalgleichung. $\frac{mv^2}{2}$ ist eine bedingte und in weiterer Folge bedingungsfähige Arbeitsgröße — das ist der Begriff der Energie.

2. Die nichtmechanischen Energieformen.

Diese Größe bleibt erhalten und verschwindet nicht. Vom Standpunkte der reinen Logik ist diese Erhaltung ein bloßes Paradigma (s. S. 62), vom Standpunkte der Naturlogik (oder Theorie der naturwissenschaftlichen Erkenntnis) jedoch ist sie die fundamentalste Erscheinung der Natur, weil alle Erscheinungen durch die Beziehung auf sie ausdrückbar sind, während weder der gleichfalls sich erhaltenden Masse oder etwa der sich erhaltenden Geschwindigkeit auch nicht eine annähernd gleiche Bedeutung zukommt. Das ist für uns von prinzipieller Bedeutung. Es muß erinnert werden, daß nach der unserer Arbeit zu Grunde liegenden Ansicht über die Natur keine Sätze apriori aufgestellt werden können und der Begriff einer reinen Naturwissenschaft als ein Widerspruch angesehen werden muß. Die Kategorien haben in Bezug auf die Natur einzig und allein die Bedeutung methodischer Prinzipien, nicht aber giltiger Grundsätze, welche erst durch das Zusammenwirken des logischen und empirischen Erkenntnisfaktors gewonnen werden. Das Kausalprinzip ist zum Beispiel ein methodisches Prinzip der Naturforschung, die Wechselwirkung dagegen eine Grunderscheinung der erforschten Natur und darum Grundsatz der Naturwissenschaft. Dieser oberste Satz der Physik kann zwar, wie wir gesehen haben (s. S. 57), mit Hilfe des Erstgenannten gewonnen und begriffen werden, darf aber mit ihm weder koordiniert (wie bei Kant) noch identifiziert werden (wie bei Mach). Das Prinzip der Isolation oder des bestimmten Stellenwertes ist ebenfalls ein solches methodisches Prinzip, nicht aber die Wahrnehmung einer Vielheit von Stoffen, auf der sich das Grundgesetz der Chemie aufbaut.

An der Hand der Wahrnehmung wird, wie gezeigt (s. S. 60), der Begriff der Energie als einer gewissen Naturbestimmtheit gewonnen. Über alle Wahrnehmung und Empfindung hinaus, wird jedoch ihre Erhaltung postuliert. Daß

alle Naturerscheinungen durch die Beziehung auf die Arbeitsgröße definierbar sind, ist der Wahrnehmung entnommen — wenn auch daraus nicht folgt, daß die Energie nur ein Maß ist, denn sie ist auch das Gemessene —, daß aber über das Tatsächliche hinaus, d. h. auch unter Umständen, die eine empirische Feststellung schlechtweg ausschließen, das Prinzip aufrecht erhalten wird, ist das Methodisch-Ideale an ihm. Diese formalen Elemente aufzuweisen und von den Wahrnehmungsinstanzen zu unterscheiden, wird, wie bis nun, auch unsere fernere Aufgabe sein.

Richten wir nunmehr unser Augenmerk auf den im üblichen Sinne eingeführten Begriff der potentiellen Energie. Wenn das Pendel eine gewisse Höhe erreicht hat, wird seine Geschwindigkeit gleich Null. Der folgende Fall müßte — wenn der Augenschein allein Zeugnis ablegen dürfte — als eine Bewegung, die aus nichts entstanden ist, angesehen werden. Das Denken verlangt jedoch, im Sinne der Kategorie der funktionalen Abhängigkeit, eine Ursache für die entstehende Bewegung, und, angelehnt an den Begriff der Energie fordert es, daß das Verschwinden der Bewegung nicht gleichbedeutend sei mit dem Verschwinden der Energie überhaupt, sondern bloß dieser Art von Energie, bloß der lebendigen Kraft. Auf diesem Gedanken, nur in Anwendung auf die Wärmeerscheinungen, beruht ja zum Teil Mayers große Leistung.

Nicht die Energie, sondern bloß die lebendige Kraft verschwindet; aber in dem Maße als dies geschieht, entwickelt sich eine andere Form, welche von Mayer zuerst ganz bewußt als Fallkraft, von Späteren richtiger als Distanzenergie bezeichnet worden ist. Es muß in der Entfernung etwas Reales anerkannt werden, weil sie eine Realität — die lebendige Kraft — zur Folge hat und von dieser erzeugt wird; dann aber ist die räumliche Entfernung nicht ideal, sondern trägt dynamischen Charakter, weil sie ihrerseits Wirkliches bedingen kann.

Eine numerische Bestimmung der kategorial geforderten Gleichwertigkeit der kinetischen und der Distanzenergie wird nun angestrebt. Die Größen p, s, m, v werden der Kategorie der Zusammensetzung gemäß, auf Einheiten bezogen. Die zwischen den beiden Energieformen aufzustellende Gleichung muß von links nach rechts und von rechts nach links gelesen werden können; umkehrbar muß sie sein: das Pendel muß, nachdem sich seine Distanzenergie in Bewegungsenergie verwandelt hat, die numerisch identische Höhe erreichen, aus der es gefallen ist; dann wäre der Beweis der objektiv-empirischen Geltung des Erhaltungsprinzips erbracht.

Tatsächlich kann nun dies Grundgesetz der Mechanik, welches Galileis Leitstern bei allen seinen Untersuchungen war, nicht als wirkliches aufgezeigt werden, denn das Pendel erreicht nicht die ursprüngliche Höhe. Sollen wir also annehmen, daß die Energie verloren gegangen ist?

Vor diesem Problem stand Mayer. Was geschieht mit der Energie, nachdem die sichtbare Bewegung des fallenden Körpers verschwunden ist — war seine Frage. Er fand, daß wo Bewegung aufhört, Wärme auftritt und gemäß der isolierenden Kategorie des bestimmten Stellenwertes sucht er die Glieder dieses Kausalverhältnisses festzustellen: „Aus der Volumänderung der sich reibenden Körper — erwägt Mayer — kann die Wärme nicht hergeleitet werden: ist das nun ausgemacht — lautet die Schlußfolgerung — so ziehen wir die Annahme, die Wärme entsteht aus Bewegung", da, wie Mayer bekennt, sonst die unzulässige Annahme einer ursachlosen Entstehung allein übrig bliebe,[1]) was einen Widerspruch gegen das Kausalprinzip bedeuten würde.

Auf diese Weise ist die Wärme in den Kreis der energetischen Betrachtung getreten und ist die Erhaltung der lebendigen Kraft zu einer Teilerscheinung des allgemeinen Prinzips der Energieerhaltung geworden, das nun seine Herrschaft

[1]) Betrachtungen über die Kräfte der unbelebten Natur (in „Mechanik der Wärme"). 1854.

auch über die Wärmeerscheinungen ausdehnte. Der diesen Schritt zuerst, mit vollem Bewußtsein seiner Tragweite vollzog, war Robert Mayer, der Galilei des neunzehnten Jahrhunderts, wie Dühring ihn nannte.

Die Wahrnehmung, durch deren Beobachtung Mayer zu seinen bedeutungsvollen Gedanken getrieben wurde, war die Beobachtung, daß im heißen Klima die Blutfarbe heller ist als im kälteren.

Schon hier wurde ihm die Beziehung der Arbeit zur Wärme zum Problem. Das Pendel erreicht nicht die ursprüngliche Höhe, der gefallene Körper verliert die Bewegung - - aber die Energie kann nicht verloren gegangen sein. Die Energie darf wieder nicht — das ist die Lösung — mit der lebendigen Kraft identifiziert werden, wenigstens nicht mit der molaren Bewegungsenergie, sondern wie sie einmal Distanzenergie werden kann, so kann sie sich das anderemal in Wärme (d. h. in molekulare Bewegung) verwandeln. Der Begriff der Verwandlung wahrt die Stetigkeit des Geschehens, indem er zwei sinnlich disparate Erscheinungen in Beziehung zu einander setzt: die Wärme entsteht nicht aus Nichts, sondern aus der Bewegung; die molare Bewegung verschwindet nicht, sondern wird zur Wärme. So durchdringen sich in dem Begriff der Verwandlung Gedachtes und Wahrgenommenes, Formales und Qualitatives. Durch diesen Begriff charakterisiert sich nunmehr die Beziehung von Arbeit zur Wärme, welche dadurch in ein ähnliches Verhältnis zu einander treten wie die potentielle und kinetische Energie der Mechanik. Und wie die Summe der kinetischen Energie (gemeint ist die molare) nicht konstant ist, da diese aus der Distanzenergie und anderen Energieformen gewonnen werden kann, so ist auch die Konstanz der Wärme bald aufgegeben worden (siehe unten): die Möglichkeit ihrer Zu- und Abnahme ist eingesehen worden.

Es war das Problem der Wärme, welche durch Reibung, Stoß oder Druck entsteht, also die Frage der absoluten Wärmevermehrung, die zur neuen Erkenntnis drängte. Die Namen

Rumford und Davy bezeichnen glänzende Taten auf dem neuen Wege. Angesichts der Wahrnehmung, daß zwei Metallstücke, von denen ein jedes für sich an einer Thermosäule eine Abkühlung hervorruft, die Erwärmung des Instrumentes bewirken, wenn sie an einander gerieben wurden, mußte die Wärmestofftheorie endgiltig aufgegeben werden; es mußte nunmehr anerkannt werden, daß die Wärme nicht bloß durch Verteilung des im Brennmaterial aufgespeicherten, oder durch die Aktualisierung des latent gewesenen Stoffes, sondern auch absolut durch Reibung oder Druck usw. entstehen kann, indem „die Bewegung der Masse als Ganzen zu einer Bewegung der Atome der Masse wird“.[1]) Der Begriff der latenten Wärme (z. B. beim Schmelzen oder Verdampfen) wurde nun konsequenter Weise durch den Begriff der verbrauchten Arbeit ersetzt und an Stelle der aktuell werdenden, trat die neuerzeugte Wärme. Der Geschwindigkeitsbegriff bekam eine erweiterte Bedeutung, er wurde zum Temperaturträger. Mit dem Quadrat der verschwundenen Geschwindigkeit der molaren Bewegung nimmt die Temperatur zu, d. h. wächst die Geschwindigkeit der Moleküle, welche die durch Kohäsion zusammenhaltenden Atome auseinandertreibend, den Übergang zu anderen Aggregatzuständen vollzieht. Ebenso bedeutet nunmehr die Abkühlung eines Körpers nicht bloß die Erwärmung eines anderen (wie bei den Mischungsversuchen), sondern auch eine Arbeitsleistung (wie bei der Dampfmaschine).

Zusammenfassend kann über die Wärme gesagt werden: die zugeführte Wärme ruft nicht blos eine Erwärmung hervor, sondern erzeugt auch andere Energien. Umgekehrt ist die Erwärmung nicht nur Folge einer zugeführten Wärmemenge, sondern kann auch durch andere energetische Vorgänge bewirkt werden. Die Begründung dieser Sätze ist die größte Leistung der Naturforschung des neunzehnten Jahrhunderts; erst im neunzehnten Jahrhundert konnten diese Sätze geschrieben werden. Für den Begriff der Energie ergab

[1]) Tyndall: Die Wärme als Bewegung. 1875. S. 78.

sich damit eine bedeutungsvolle Erweiterung seines Umfangs. Nunmehr bedeutet Energie nicht bloß Arbeitsertrag, sondern jede Wirkung überhaupt, die in Arbeitseinheiten ausdrückbar ist, kann als Energie bezeichnet werden.

Mayer und Clausius haben vornehmlich diese neuen Ideen verkündet. Mayer war auch der Erste, der das mechanische Äquivalent der Wärme bekannt gegeben hat. In Betreff desselben muß festgestellt werden, daß seine Angaben zwischen 365 und 488 kgm schwankten (s. Helm: die Energetik, Seite 34), bis man auf die heutige Zahl 427 kg/m (zur Erhöhung einer kg/Calorie von 15° auf 16° C) gekommen ist. Das ist für uns ungemein belehrend: man ersieht nämlich daraus, wie die Idee siegreich durchdringen kann, obwohl die Mittel zu ihrer konkreten Darstellung nicht ausreichen, denn offenbar waren es rein technische Umstände (technische Schwierigkeiten in der Durchführung der Kategorie des bestimmten Stellenwertes), die diese Ungenauigkeiten zur Folge hatten. Dieser Umstand weist ganz deutlich auf einen höheren Ursprung des Vertrauens, das man dem Prinzip entgegenbringt. („Der Physiker zieht den Hut, wenn vom Energieprinzip die Rede ist" — sagt Weinstein).[1]) Würde es nur der Wahrnehmung entstammen, würde nicht hier das Denken mit seiner ganzen Wucht mitreden, so müßte es durch die sich widersprechenden Messungen erschüttert werden. Man hat aber die Berechnungen als ungenau verworfen, weil dieselben vielleicht niemals einwandfrei auszuführen sind, während man an der Gültigkeit des Prinzips festhielt und dadurch ein methodisches Moment an ihm zugegeben. Andererseits muß aber hervorgehoben werden, daß die ungeheure Bedeutung des Prinzips in der modernen Wissenschaft und Technik gerade dem Umstand zuzuschreiben ist, daß die Forschung den methodisch unbedingt gültigen Grundsatz durchzuführen ver-

[1]) B. Weinstein: Die philosophischen Grundlagen der Wissenschaften, Seite 325, 1906.

mocht hat, d. h. ihn, soweit dies eben möglich, rein zahlenmäßig ausgedrückt hat.

Durch das mechanische Äquivalent der Wärme wurde das konstante Verhältnis zwischen den beiden Formen der Bewegungsenergie, der molaren und molekularen festgestellt. Clausius stellte dafür die Formel auf: $dQ = dH + dJ + dW$, wo dQ die zugeführte Wärmemenge bedeutet, welche teils das vorhandene Wärmequantum um einen Betrag vermehrt (um dH), teils innere (dJ), teils äußere (dW) Arbeit leistet.[1]) Im Falle eines Kreisprozesses vereinfacht sich die Formel auf $Q = W$.[2])

Was Huyghens und Leibniz in Bezug auf die lebendige Kraft, was Carnot und Mayer für die Erkenntnis der Wärmeerscheinungen geleistet haben, das verdankt man Helmholtz in Bezug auf die anderen Zweige der Physik. Was Mayer, wenn auch sehr großzügig, andeutete,[3]) hat Helmholtz, wenn auch in anderem Sinne, vollzogen; Mayers Wort ist bei Helmholtz Tat geworden (dies ist natürlich bloß in systematischer Hinsicht gemeint; es ist uns nicht unbekannt, daß Helmholtz erst nach der Veröffentlichung seiner darauf bezüglichen Abhandlung von Mayers Schriften Kenntnis nahm).[4]) Helmholtzs Stellung zu seinem Vorgänger ist jedoch merkwürdig genug. Er wirft ihm metaphysische Spekulationen vor[5]) (deren übrigens auch

[1]) Clausius: Mechanische Wärmetheorie, Seite 29.

[2]) l. c. Seite 35.

[3]) Übrigens sei darauf aufmerksam gemacht, daß eine ähnliche Unterscheidung der Naturerscheinungen, wie sie Mayer gemacht hat, sich bereits bei Wolff findet. Derselbe sagt: Ontologia S. 574 (Ausgabe 1730): „Subjectum perdurabile et modificabile dicitur Substantia. Ens autem quod modificabile non est, accidens appelatur." Ähnlich führt auch Mayer als Merkmale der Kraft die Unzerstörbarkeit und Veränderlichkeit an, im Unterschiede von den Eigenschaften, die unzerstörbar aber auch unveränderlich sind. Der tiefere Grund davon dürfte in Wolffs Abhängigkeit von Leibniz liegen, mit dessen Gedanken die moderne Naturwissenschaft manche Verwandtschaft aufweisen kann.

[4])[5]) Wissenschaftliche Abhandlungen, Band 1, S. 71, S, 73.

er selbst bald beschuldigt werden sollte), trotzdem ja Mayer das Energieprinzip mit dem angewandten und zahlenmäßig ausdrückbaren Funktionsbegriff zusammenfallen ließ[1]) und Helmholtz gerade in dem Kausalprinzip eine notwendige Denkfunktion und eine Voraussetzung der Naturwissenschaft mit wahrhaft philosophischem Tiefblick gewürdigt hat.[2]) Man kann allerdings hinzufügen, daß das Kausalprinzip nur ein Moment des allgemeinen Gesetzlichkeitbegriffs bildet (s. S. 27, 28), neben welchem noch die Beziehung auf eine Einheit, die Zusammenfassung gleichartiger Einheiten und die Stetigkeit der Veränderung in diesen Begriff eingehen, aber die zahlenmäßig ausgedrückte Kausalbeziehung vereinigt in sich auch alle anderen Kategorien.

Der in der berühmten Abhandlung „über die Erhaltung der Kraft“ vom Jahre 1847 unternommene Versuch, vom energetischen Standpunkte aus die gesamte Physik zu behandeln, ist jedoch keineswegs naturlogisch, sondern rein naturalistisch, d. h. er strebt an ein inhaltliches Erfassen der Natur und nicht ein formales der Naturwissenschaft.[3]) Helmholtzs Naturauffassung ist rein mechanistisch: sie kennt nur Zentralkräfte, die an materielle Punkte gebunden sind.[4])

[1]) „In der Kette von Wirkungen und Ursachen kann, wie aus der Natur der Gleichung erhellt, nie ein Glied oder ein Teil des Gliedes zu Null werden.“ (Mayer: Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur. S. 23.)

[2]) l. c. S. 68.

[3]) Sie war nur für Physiker bestimmt, wie Helmholtz in der Einleitung sagt; daher wurde von einer ausführlicheren philosophischen Begründung abgesehen.

[4]) l. c. S. 16. Die Erhaltung der Masse ist Helmholtz das Primäre. Aus der Voraussetzung der Auflösbarkeit der Materie in Kraftpunkte, deren Intensität von ihrer Entfernung abhängt, leitet er das Energieprinzip ab. Außerdem dient ihm der Satz, daß die Energie nicht ins Unbegrenzte erzeugt werden kann, zur Begründung des Prinzips ihrer Erhaltung.

Die moderne Physik hat jedoch diesen Standpunkt teilweise verlassen, sie unterscheidet zwei große Gebiete der Naturerscheinungen: das der mechanischen und der elektromagnetischen. Diese Unterscheidung vollzieht sie durch den Ausgang von den Massenverhältnissen. Die mechanischen Erscheinungen sind an die Masse gebunden, die elektromagnetischen dagegen sind von der Beziehung auf die Masse frei. Diese Dualität von Materie und Äther ist der Standpunkt, den die Naturforschung der Gegenwart einnimmt. Sie lehrt die atomistische Konstruktion der Elektrizität, die sie geradezu als einen Stoff betrachtet, und unterscheidet positive und negative Ionen (der Name und Begriff rührt von Faraday her, der ihn für elektrolytische Vorgänge schuf), von denen die ersten nur in Verbindung mit der Masse vorkommen, wogegen die negativ geladenen Ionen (die Elektronen) wie zum Beispiel die Kathoden- und Röntgenstrahlen und die β- und γ-Strahlen der radioaktiven Substanzen, die als identisch mit den erstgenannten angenommen werden, ohne Masse sich im Äther bewegen. Die elektrischen Ladungen werden nach Elementarquanten gemessen, die bei den elektrolytischen Vorgängen den Valenzstellen der zerfallenden Atome proportional sind. Die Größe der Ladung nimmt mit der Geschwindigkeit zu und erzeugt auf diese Weise den Schein der Trägheit. Innerhalb der Physik des Äthers finden aber dieselben Kategorien Anwendung, die zum objektiven Aufbau der mechanischen Erscheinungen verholfen haben. Also werden auch hier gleichförmige und ungleichförmige Schwingungen längs der angenommenen Kraftlinien unterschieden, von denen den ersten die konstanten, den letzten die veränderlichen Ströme entsprechen sollen. Ob man jedoch weitergehen und mit Righi behaupten darf, daß „die Elektronentheorie nicht so sehr eine Theorie der Elektrizität, als vielmehr der Materie sei“.[1]) daß

[1]) Righi: Die moderne Theorie der physikalischen Erscheinungen, S. 227

„das neue System geradezu die Elektrizität an Stelle der Materie setzt, deren innere Natur nach den alten Vorstellungen nicht viel besser bekannt ist, als es heute mit Elektronen der Fall ist“,[1]) darüber zu entscheiden ist nicht Sache der Philosophie, sondern läßt sich lediglich auf Grund der empirischen Forschung ausmachen. Die Forschung allein kann über die materielle Seite der Naturerscheinungen Aufschluß erteilen und hier ist Enthaltsamkeit des Philosophen Pflicht, den ja (als Erkenntnistheoretiker) viel mehr die Wege der Forschung, als ihre Ergebnisse interessieren. Die Naturerscheinungen unterscheiden sich also von einander durch ihre mechanische oder elektromagnetische Natur. Ihre Beziehungen zu einander sind sehr mannigfach.

Durch mechanische Vorgänge werden elektrische erregt, und elektrische Phänomenen leisten mechanische Arbeit. Zu den ersten gehört die primitivste Art der Elektrizitätserzeugung, durch Reibung, wobei der Grundsatz gilt, daß gleiche Mengen positiver und negativer Elektrizität entstehen, was aus der Tatsache, daß es zwei Arten von Elektrizität gibt, die zusammenwirkend sich aufheben, und daß die Körper vor dem Reiben unelektrisch sind, notwendig folgt. Andererseits leisten elektrisch geladene Körper mechanische Arbeit, die in dem Colombschen Gesetz zum Ausdruck gekommen ist. Die elektrische Energie ist bestimmt durch die Potentialdifferenz eines Körpers zwischen seiner im Unendlichen angenommenen Anfangs- und seiner Endlage. Durch die Abnahme des Potentials kommen Entladungen zustande, welche die andere Form der mechanischen Leistungen der Elektrizität ist. Da jede Wirkung der Abnahme des Potentials porportional gesetzt werden muß, so lassen sich alle Wirkungen gemäß der Kategorie der Zusammensetzung summieren; so daß für sie der von Clausius ausgesprochene Hauptsatz gilt: „die Summe aller durch eine elektrische Entladung hervorgebrachten Wirkung

[1]) l. c. S. 227.

ist gleich der dabei eingetretenen Abnahme des Potentials der gesamten Elektrizität gegen sich selbst".[1])

Die Verwandlung der Wärme in Elektrizität hat Seebeck entdeckt; die Ausschläge des Galvanometers sind die bewährtesten Mittel für die Temperaturfeststellung. Für die thermischen Wirkungen der elektrischen Ströme gilt das von Lenz für feste, von Joule allgemein durchgeführte Gesetz. Dieses wichtige Gesetz wird von einigen Physikern direkt aus dem Erhaltungsprinzip abgeleitet. So sagt Lommel in seinem bekannten Lehrbuche[2]) „Man hätte das Joulesche Gesetz auch ohne Versuche durch folgende auf dem Prinzip der Erhaltung der Energie gestützte Überlegung finden können. Wenn die in der Zeiteinheit den Draht durchfließende Elektrizitätsmenge, das ist die Stromstärke, von dem höheren Potential an einem Ende des Drahtes bis zu dem niedrigeren am anderen Ende herabsinkt, so leistet sie Arbeit, welche gleich ist dem Produkte aus der Elektrizitätsmenge (J) und dem Potentialunterschiede an den Drahtenden (E); diese Arbeit wird in die ihr aequivalente Wärmemenge verwandelt". Lommel hätte noch bemerken sollen, daß das letzte Moment, daß sich die geleistete Arbeit gerade in Wärme umsetzt, ein absolut empirisches Moment, d. h. aus den methodischen Prinzipien der Physik nicht ableitbar ist. Und gerade in solchen Entdeckungen liegt das Wertvolle der experimentellen Durchführung des Erhaltungsprinzips, daß sie die Faktoren, zwischen denen das Energieprinzip besteht, finden läßt. Das ist auch wohl der Grund, weshalb sich die Physiker so oft gegen eine erkenntnistheoretische Interpretation ihrer Ergebnisse sträuben. Wenn sie vom Erhaltungsprinzip reden, so denken sie immer an konkrete Fälle, in denen das Gesetz durchgeführt wurde. Sie vergessen aber, daß das methodische Grundprinzip, das schon in der ersten Definition der Mechanik, daß die Kraft Ursache der Bewegung sei, enthalten ist, die treibende Macht ist, die sich

[1]) Clausius: Mechanische Wärmetheorie, II. Band, S. 99.

[2]) Lommel: Experimentalphysik. 17.—19. Auflage. S. 343.

in den Instrumenten verkörpert, die Messungen leitet, bis es sich zuletzt in ganz speziellen Angaben konkretisiert.

Die verschiedenen physikalischen Disziplinen haben sich historisch nicht auseinander, sondern nebeneinander entwickelt, so daß es Jahrhunderte langer Arbeit bedurfte, bis man die Ergebnisse der verschiedenen Zweige konfrontieren und finden konnte, daß sie zusammengehören. Das allgemeine methodische Grundprinzip verhält sich so zu dem Endergebnis, auf das es hinzielt, wie eine algebraische Gleichung zu einer arithmetischen Zuordnung von Maßzahlen. Die letzten können wechseln, während die erste bestehen bleibt: aber erst wenn die Maßzahlen bestimmt sind, ist die Erkenntnis vollendet, denn die Methode endet nicht dort, wo die eigentliche Forschung beginnt, sondern begleitet sie Schritt für Schritt. So verlangt das Energieprinzip seine Konkretisierung, ist aber an keine dermaßen gebunden, daß es aufhören könnte gültig zu sein, wenn die konkrete Darstellung sich aus irgend welchen Gründen als falsch oder zufällig erweisen würde.

So scheint auch das Lenzsche Gesetz für das Verhältnis der Induktionsströme zueinander, wodurch das Energieprinzip in das Gebiet der rein elektromagnetischen Erscheinungen eindringt, zunächst jeder Rationalität bar zu sein. Dieses Gesetz ist es auch, wenn man in dieser Erkenntnis nichts als eine Leistung des reinen Denkens sehen wollte. Es ist aber rational, wenn man die Denkfunktionen als Instrumente betrachtet, die von dem obersten Erkenntniszweck in Tätigkeit gesetzt, plastisch und schmiegsam genug sind, um sich in alle Erscheinungen hineingraben zu können und sie hin und wieder bald isolieren, bald superponieren, im ganzen kommandierend und wegweisend. Das ist auch bei der Lenzschen Regel der Fall: Es entsteht in einer Spule ein sekundärer Strom, wenn ein primärer (oder ein Magnet) in sie hineingelegt wird. Das ist nun eine bestimmte Arbeitsgröße, die der einwirkenden Kraft proportional gesetzt werden muß; aber indem sie diese hervorbringt, muß sie selbst ge-

schwächt werden, denn als Ursache verschwindet sie in dem Maße als die Wirkung wächst. Das geschieht auf diese Weise, daß der entstehende Strom in der entgegengesetzten Richtung, als der erzeugende fließend, denselben aufhebt.[1]) Speziell ist daran, absolut empirisch, das heißt aus den logischen Prinzipien der Physik nicht ableitbar, daß eben ein elektrischer Strom und nicht eine andere Energie entsteht. Aber nachdem diese epochemachende Entdeckung von Faraday gemacht wurde, haben sich die kategorialen Denkmittel dieser neuen Wahrnehmung bemächtigt und alle in Betracht kommenden Größen, ob sie Zeiten oder räumliche Richtungen oder Elektrizitätsmengen sind, so behandelt, als wenn sie nichts als Zahlengrößen wären: die Gleichung mußte aufgestellt werden.

Auch die Chemie bietet ein fruchtbares Feld für Betrachtungen über die Rolle der Kategorien in dem empirisch-objektiven Aufbau des Energieprinzips. Man geht aus von der Wahrnehmung, daß bei der Verbindung zweier Elemente Wärme zum Beispiel entwickelt wird (womit jedoch nicht gesagt ist, daß alle chemischen Reaktionen immer im Sinne exothermischer Vorgänge verlaufen). Dem methodischen Prinzip der funktionellen Abhängigkeit gemäß sucht man dafür eine äquivalente Größe als deren Funktion die entwickelte Wärmemenge aufgefaßt wird; das Äquivalent findet man in der chemischen Affinität. Man findet auch, indem man der Kategorie des bestimmten Stellenwertes gemäß die in Betracht kommenden Momente isoliert, daß die Temperatur, bei der eine Reaktion vor sich geht, nicht (bei festen Stoffen), wohl aber die Menge der reagierenden Stoffe für die entwickelte

[1]) Diese Form des kausalen Geschehens tritt auch sonst auf: durch Erwärmung dehnt sich ein Körper aus, dehnt er sich aber aus, so kühlt er sich ab; durch Temperaturunterschiede entsteht an einigen Körpern (Thermoelemente) ein elektrischer Strom, der elektrische Strom hebt jedoch den Unterschied der Temperaturen auf. Aus dem im Texte angeführten Beispiele ersieht man außerdem, daß die Energie, welcher der Richtungsausdruck fehlt, doch auch richtungsbestimmend wirken kann.

Wärmemenge bestimmend sind, und schreitet nun fort zur numerischen Berechnung der äquivalenten Affinität, indem man sie laut der Kategorie der Zusammensetzung auf eine Einheit bezieht, und gelangt schließlich zum Begriff der Verwandlung, der vom Stetigkeitsprinzip beherrscht ist (s. S. 74). Als weitere Beziehungen der chemischen Energie zeigt die Wahrnehmung an, die Leistung äußerer Arbeit bei der Überwindung des Atmosphärendruckes, die Erzeugung der elektrischen und Beeinflussung der optischen Energie.

Nirgends vielleicht zeigt sich die Wirksamkeit des Erhaltungsprinzips so deutlich, wie in der neuesten Phase der Entwicklung der Naturwissenschaft: in der Elektronentheorie. Das Energieprinzip hat jetzt den anderen Begriff, der ihm lange Zeit Konkurrenz machte, den Begriff des unzerstörbaren Atoms niedergezwungen. Die moderne Physik hat den Gedanken der Unzerstörbarkeit der Atome angesichts der radioaktiven Erscheinungen endgültig aufgegeben.[1]) Sie hat eine Entwicklungsreihe aufgestellt, die von Uran, dem am Atomgewicht größten, bis zum Radium und Polonium, und wenn die vorhandenen Anzeichen nicht trügen, bis zum Blei herabführt. Die von Mayer gemachte Einteilung der Naturerscheinungen in imponderable und variable (Kräfte) und ponderable und invariable (chemische Elemente) wird man jetzt also fallen lassen müssen.

Alles verändert sich und der zweite Hauptsatz der Wärmelehre spitzt den Gedanken zu: einsinnig erfolgt die Weltveränderung, die man wegen der Eindeutigkeit des Veränderungssinnes auch als Entwicklung ansprechen kann.

Das Prinzip der Konstanz der chemischen Elemente ist jedoch nicht identisch mit dem Prinzip der Erhaltung der Masse. Indem sich die Atome als ineinander verwandelbar erwiesen haben, ist nur die Ganzheit gefallen, nicht aber das Ganze, als Summe der einzelnen Größen (kleiner Atom-

[1]) Planck: Neue Bahnen der physikalischen Erkenntnis. Rektoratsrede 1913.

gewichte);[1]) die Masse bleibt intakt und bildet, ähnlich wie die Wärme- oder Elektrizitätsmenge den Extensitätsfaktor der Energie. Nicht er aber, sondern der in jedem Energieausdruck ebenfalls enthaltene Intensitätsfaktor (Höhen-, Temperatur-, Potentialdifferenz) ist sowohl für die allgemeine Möglichkeit des Geschehens wie für die spezielle Richtung desselben der bestimmende Umstand.

Diese Tatsache bildet den Inhalt des verallgemeinerten zweiten Hauptsatzes der Energetik, wie er von Helm und Ostwald ausgebildet wurde. Zu dem Inhalte des ersten Hauptsatzes, wonach ein bestimmtes Quantum (Kategorie der Zusammensetzung) einer Energie (Kategorie des bestimmten Stellenwertes oder der Isolation) sich in ein äquivalentes Quantum einer anderen (verschiedene Maßeinheit) verwandelt (Kategorie der funktionellen Abhängigkeit und der Stetigkeit, s. S. 74) treten folgende Bestimmungen hinzu: 1. die Verwandlung erfolgt in dem Maße als unkompensierte Intensitätsunterschiede bestehen, 2. die unkompensierten Intensitätsunterschiede streben einem Gleichgewichtszustande zu, (wodurch nach 1. jede Veränderung unmöglich wird), 3. die Intensitätsunterschiede der Wärmeenergie lassen sich nicht kompensieren (nähern sich daher nach 2. dem Zustande des Gleichgewichtes). 4. außer anderen Energien entwickelt sich bei jedem Naturvorgange auch Wärme (folglich entsteht immer mehr eine Energieform, welche nach 3. sich nicht kompensieren läßt, also nach 2. einem Gleichgewicht zustrebt, wodurch nach 1. das Geschehen unmöglich gemacht wird). Zusammenfassend besagt der zweite Hauptsatz, daß in der Natur immer mehr die Größe der weiter nicht verwandelbaren Energieform zunimmt, oder, daß die Entropie einem Maximum zustrebt.

Dieser zweite Hauptsatz ist nun teils eine konkretere Darstellung des ersten[1]), teils aber — in den Sätzen über die

[1]) Meyerson sagt (Identité et Realité, S. 432), daß die mechanischen Atome mit den chemischen nur den Namen gemeinsam haben. Erst die Jonentheorie gibt die Möglichkeit einer Verbindung beider Begriffe.

Rolle der Wärme ein neues Gesetz, das auf den ersten ein für uns besonders interessantes Licht wirft. Wenn nämlich die Wärme sich nicht vollständig in Arbeit verwandelt, die Kausalgleichung also sich nicht auch in umgekehrter Richtung lesen läßt, so kann die in Wärme verwandelte Arbeit durch Rückverwandlung nicht wiedergewonnen werden. Während die Wissenschaft also wohl im Stande ist, innerhalb der unvermeidlichen Versuchsfehler die Gleichheit der Gewichte vor und nach der chemischen Reaktion, oder die Identität des Stoffes vor und nach der Verwandlung in einen anderen Aggregatzustand nachzuweisen, so ist ihr nicht möglich, die numerische Gleichheit der verbrauchten und der aus Wärme (in die sich schließlich alle anderen Energien verwandeln) wiedergewonnenen Arbeit darzutun. Folglich kann ein empirisch-objektiver Beweis der Erhaltung der Energie nicht erbracht werden. Wenn trotzdem die Wissenschaft an dem Prinzip festhält, so zeigt sie damit, daß sie die rein methodische Seite des Prinzips als idealer Voraussetzung der Naturforschung anerkennt. Diese Voraussetzung findet von unserem Standpunkte ihre Rechtfertigung in der Besinnung, daß der Erhaltungsgedanke die Natur des Denkens ausmacht, sich als solcher in jeder Kategorie, ohne die wir aus der naturhaften, subjektiv bedingten Wahrnehmung nicht hinauskommen könnten, ausprägt, und daher nicht aufgegeben werden kann.

Wir müssen also von der Anwendbarkeit eines Prinzips seine Gültigkeit unterscheiden, und dürfen uns die Verwechslung beider Begriffe nicht zu Schulden kommen lassen. Das Prinzip der Energieerhaltung — wie alle Erhaltungs-

[1]) Daß dies wirklich der Fall ist, erhellt aus folgender Tatsache: ein Körper kann sich nicht von selbst auf einer Ebene bewegen, denn nach dem ersten Hauptsatz würde die Bewegung eine Energievermehrung ohne äquivalenten Verbrauch nach dem zweiten ein Geschehen ohne Intensitätsunterschied (keine Höhendifferenz) bedeuten.

prinzipien überhaupt — unterscheidet sich von den Naturgesetzen jeder anderen Art dadurch, daß es auch über das Erscheinungsgebiet, in welchem es bestätigt wurde, hinaus Geltung hat. Die Erhaltung der Energie ist eben nicht bloß ein Naturgesetz, sondern auch eine Verstandesidee, ein Forschungsprinzip, das an die Erfahrung angelehnt, dieselbe leitet; es ist nicht bloß Inhalt der Natur, sondern auch Form des Naturdenkens.

Nachdem wir so die Formen des Energieprinzips aufgezeigt und es erkenntnistheoretisch zu prüfen gesucht haben, nachdem wir also gesehen haben, daß, wie zwei Worte in verschiedenen Sprachen dieselbe Bedeutung haben, so auch der Idee nach, zwei verschiedene Energien dieselbe Leistungsfähigkeit, denselben Arbeitswert besitzen, wollen wir das Ergebnis kurz zusammenfassen. Um jedoch eine gewöhnliche Wiederholung zu vermeiden, wollen wir der Revision der Betrachtung das berühmte Buch von Planck „Über das Prinzip der Erhaltung der Energie“ zu Grunde legen.

Planck erblickt die große Bedeutung des Energieprinzips darin, daß es eine deduktive Behandlung der Erscheinungen möglich macht. Indem er dann (im II. Kapitel) versucht, einen Beweis für das Energieprinzip zu erbringen, geht er zunächst von einer Definition der Energie aus, ohne die Gültigkeit des Prinzips vorauszusetzen. Er sagt also: „die Energie eines materiellen Systems in einem bestimmten Zustande bezeichnen wir als den in mechanischen Einheiten gemessenen Betrag aller Wirkungen, welche außerhalb des Systems hervorgebracht werden, wenn dasselbe aus seinem Zustande auf beliebige Weise in einen nach Willkür fixierten Nullzustand übergeht“.[1])

Das heißt also zunächst: wir messen die Wirkungen, die Größen sind, nach einer qualitativen Maßeinheit dieser

[1]) l. c. S. 104.

Größen, hier nach Arbeitswerten. Eben diese Beziehung auf ein Quantum als Einheit macht die bezogenen Erscheinungen zu Größen. Woher aber das Recht, irgend ein Quantum als Maßeinheit auszuzeichnen? Woher das Recht zu dieser Willkür? Schon in der Darstellung der Grundbegriffe der Mathematik wurde gezeigt, daß die Einheit an keinen Träger gebunden ist, und daß in dieser Unabhängigkeit der Einheit von jeder Zahlengröße sich ein tiefer Zug des Denkens offenbart. Also ist die Auszeichnung einer Arbeitsgröße als Einheit eine methodische Leistung des Denkens: nur auf diese Weise kann der Erkenntniszweck verwirklicht werden. Dadurch werden die Arbeitseinheiten zu Größen, mit denen sich wie mit Zahlen rechnen läßt; sie werden aufgelöst in ihre mathematische Bedeutung.

Nun fährt Planck fort: „um die äußeren Wirkungen in ihm vollständig zu erhalten, denkt man sich am besten das System zunächst vollständig isoliert im unendlichen Raum, und führt erst dann diejenigen Körper in die Nähe, deren Einwirkungen zur Herbeiführung des erforderlichen Übergangs geeignet sind".[1])

In diesem Verfahren erkennen wir eine Leistung der einführenden Kategorie des bestimmten Stellenwertes, die den fundamentalen Begriff der Ordnung hervorbringt und in der Physik unter dem Namen des Isolationsprinzips bekannt ist. Ihr muß zuerst das Recht geschehen. Die bunte Mannigfaltigkeit der Erscheinung wird zerrissen, der Ordnung halber wird zuerst eine Erscheinung betrachtet, dann erst die zweite hinzugefügt, die sich mit der ersten addiert, sodaß der Größenwert beider in der Summe erhalten bleibt, so wie bei den Kardinalzahlen sich die erstgesetzte in der folgenden erhält. Aber davon wird unten ausführlicher zu reden sein. Zuerst sehen wir die Kategorie des bestimmten Stellenwertes am Werke. Nachdem sie das ihrige getan, wird man eine

[1]) l. c. S. 104.

regelmäßige Sukzession dreier Erscheinungen nicht mehr als zufällig ansehen dürfen, sondern wird berechtigt sein, sie nach dem Schema des Funktionsbegriffs zu behandeln. Also wird man zwischen ihnen eine Gleichung aufstellen dürfen.

Diesem Schlusse nähert sich auch Planck. Er bemerkt, daß die Wirkung sich nicht immer in mechanischen Einheiten berechnen läßt; in diesem Falle stellt sich „die mechanische Wirkung, als diejenige Arbeitsmenge dar, in welche sich die Wirkung verwandeln läßt". Einen ähnlichen Fall haben wir bereits in der Mechanik behandelt (S. 57.) Ebenso verhält es sich auch hier. Die Wirkung des veränderten materiellen Systems läßt sich nach der Wirkung berechnen, die sie hervorbringt.

Ist hier aber nicht bereits vorausgesetzt, daß die Wirkung der Ursache bis ins dritte Glied hinein gleicht, oder, da wir es mit qualitativ verschiedenen Einheiten zu tun haben, daß sie ihr proportional ist? Und ist nicht eo ipso gesagt, daß die Wirkung als Funktion einer Variablen, hier der Veränderung eines materiellen Systems, anzusehen ist? Wie sonst dürften wir eine Erscheinung nach der Wirkung messen, die eine durch sie bewirkte Erscheinung hervorgebracht hat, wenn wir nicht voraussetzen würden, daß die Größe der ersten ganz und restlos in die zweite übergegangen ist und sich in der dritten erhalten hat? Ist aber damit nicht die Gültigkeit des Energieprinzips, die Planck nicht voraussetzen wollte, unbedingt angenommen?

Planck führt seinerseits zum Beweise des Energieprinzips Argumente an, welche logisch unbefriedigend sind. Er beruft sich auf die Tatsache, daß es bis jetzt nicht gelungen ist, ein perpetuum mobile zu errichten, d. h. Arbeit aus Nichts zu schaffen. Planck selbst machtsich den Einwand, daß damit ein Schluß, ob es zukünftig mit vervollkommneten technischen Mitteln nicht gelingen möchte, das Unmögliche zu tun nicht abgewiesen ist, läßt aber den Einwand unbeantwortet.

Das Nichts[1]) ist Null an Arbeitsgröße. Es kann daher nach dem Schema der arithmetischen Null behandelt werden. Nun ist es schon von der Mathematik her bekannt, daß die Null denjenigen Denkpunkt bezeichnet, welchen wir als reine Identität erkannt haben. Alle Zahlen, multipliziert mit Null, geben Null, jede zur Null zugefügte Zahl bleibt sich selbst gleich — es war nur eine scheinbare Addition. Nun werden Erscheinungen auf Einheiten bezogen und demzufolge als Größen behandelt: folglich gelten für sie die mathematischen Gesetze der Zahlengrößen, der Null unter anderen. Daher der Satz: ex nihilo nihil, der sich also als mathematischer erweist. Eine Kausalgleichung besteht zwischen zwei sich in der Zeit folgenden Größen: Null bedeutet aber Aufhebung jeglicher Größe, daher kann sie nicht folgen, daher kann niemals die Beziehung aufgestellt werden, Null = Eins.

Aber außer den Kategorien des bestimmten Stellenwertes und der funktionalen Abhängigkeit, sind auch die beiden anderen bei dieser Objektivierung wirksam. Der Kategorie der Zusammensetzung, die so prägnant den Erhaltungsgedanken in den Kardinalzahlen verewigt, wurde schon gedacht. Jetzt soll sie weiter betrachtet werden. Bei Planck gelangt sie zu großer Auszeichnung. Wenn ein System keine Wirkungen ausübt — führt er aus — so bleibt es konstant, d. h. in dem System finden nur innere Wirkungen statt und „die Energie dieses Systems setzt sich zusammen aus der Summation der einzelnen Energiearten und man kann die Veränderungen und Umwandlungen dieser verschiedenen Arten ebenso bis ins einzelne Detail hinein verfolgen, wie die Veränderungen der Materie".[2]) Aus diesem Satze ersieht man, wie die Kategorie der Zusammensetzung herangezogen wird, und was für große Bedeutung ihr für die Durchführung des Erhaltungsprinzips beigemessen wird. Planck selbst nennt die Summation der

[1]) Vgl. die interessanten Ausführungen Bergsons über das Phantom des „Nichts" in „Evolution créatrice".

[2]) l. c. S. 115/116.

einzelnen Energiearten das Prinzip der Übereinanderlagerung oder Superposition, welches nichts anderes ist, als die methodische Behandlung der Naturerscheinungen nach dem Schema der arithmetischen Operationen der Addition und Subtraktion, wie das mit den Streckenzügen in der Geometrie, den Kräften in der Mechanik, den optischen und akustischen Wellen bei den Erscheinungen der Superposition und Interferenz der Fall ist.

In der weiteren Entwicklung des Energieprinzips hebt Planck eine großartige Idee hervor, indem er zuletzt die Kategorie der Stetigkeit heranzieht. Er selbst nennt sie mit einem naheverwandten Ausdruck: Infinitesimaltheorie.[1]) Er drückt sie in folgenden Worten aus: „Alle Veränderungen, die in und an irgend einem materiellen Element vor sich gehen, sind vollständig durch die augenblicklichen Vorgänge innerhalb und an der Grenze des Elements bestimmt". Nur in Bezug auf zeitliche Wirkungen ist diese Kategorie, wie Planck bemerkt, „zur durchgreifendsten Anerkennung gelangt; den nächsten Jahrzehnten dürfte es vorbehalten sein, dasselbe für die räumlichen Wirkungen durchzuführen . . . und man ist berechtigt zu erwarten, daß auch sie sich von ähnlicher weittragender Bedeutung für die weitere Entwicklung erweisen wird." Man kann hinzufügen, daß dann erst der Gesetzlichkeitsbegriff vollständig durchgeführt wäre. Die Stetigkeit gehört dazu.

Sehr wichtig ist folgende Bemerkung Plancks: „Wenn die einzelnen Energiearten sich nicht mehr unabhängig von einander, jede nach Maßgabe der ihr entsprechenden äußeren Wirkung, ändern, so müssen wir mit der Zerlegung der Gleichung der Energie innehalten". Das heißt, gesetzt, die Kategorien des bestimmten Stellenwertes und der Zusammensetzung ließen sich nicht durchführen, so wären wir damit nach Plancks Worten „auf eine Grenze der Anwendbarkeit, nicht aber der Gültigkeit des Energieprinzips gestoßen". So unterscheidet der große Physiker den methodischen

[1]) l. c. S. 274.

Charakter des Prinzips, den er anerkennt, von seiner empirischen Durchführung.

Dagegen verwechselt Mach merkwürdigerweise beide Begriffe. In der ersten Auflage seiner „Prinzipien der Wärmelehre“ heißt es an einer Stelle (S. 346): „das Energieprinzip hat nur für ein begrenztes Tatsachengebiet Gültigkeit“ und einige Zeilen weiter: „sein Anwendungsgebiet ist nicht unbegrenzt“. Aus der ersten Äußerung könnte der Verdacht geschöpft werden, daß es ein Gebiet gebe, für welches das Prinzip ungültig sei. Es bezeugt aber die methodische Natur des Prinzips eben der Umstand, daß seine Gültigkeit auch über die unmittelbare Anwendbarkeit hinaus aufrecht erhalten wird (s. S. 45 und 86). Den Bedingungen der Objektivität kann nämlich auf keine Weise widersprochen werden, wenn auch ihre konkrete Erfüllung erst Naturerkenntnis im eigentlichen Sinne ist.

So kann auch nicht behauptet werden, daß das Energieprinzip restlos in der Biologie durchgeführt wurde; trotzdem dürfte es keinem Forscher einfallen, seine Gültigkeit in der genannten Wissenschaft zu leugnen. So meint Rubner, nachdem er bemerkt hat, daß durch seine Versuche die von Mayer und Helmholtz begründete „Lehre von der Erhaltung der Kraft“ nunmehr auch die tierischen Erscheinungen umfaßt: „die Lehre von der Erhaltung der Kraft bedarf des Beweises ihrer Geltung auch auf dem biologischen Gebiete nicht. Das Mißlingen würde uns nur zum Ausspruch des Bedauerns, daß die tierischen Erscheinungen noch immer nicht genau genug sich beherrschen lassen, um exakte Resultate zu gewinnen, Veranlassung gegeben haben“.[1])

Wir können uns den Unterschied zwischen der Gültigkeit eines Prinzips und seiner konkreten Durchführung durch das bereits erörterte Verhältnis einer algebraischen Gleichung zu der Zuordnung von Maßzahlen, zum Bewußtsein bringen.

[1]) Zeitschrift für Biologie. Band 30, S. 137.

IV. Abschnitt.

Energie und Substanz.

Die Erhaltungsideen sind so alt, wie das Denken selbst. Sie sind am innigsten mit dem Wesen des Geistes verwachsen, sind sein prägnantester Ausdruck. Die Momente, die in ihrer Entwicklung zu beobachten sind, veranschaulicht vielleicht am besten der tiefe Vergleich des historischen Werdens der Menschheit mit dem Besteigen eines Berges. Die Menschheit entwickelt sich in der Geschichte, wie ein Wanderer auf einem Pfade, der sich in Spiralwindungen um den Berg legt, hinaufklettert: von Zeit zu Zeit kehrt der Wanderer — kehrt die Menschheit — zur selben Weltseite zurück, nur in immer höhere Lagen. Dieses Gleichnis scheint eine geschichtsphilosophische Wahrheit, die für alle Geistesprodukte gleich gültig ist, zu enthalten. Es hält die Mitte zwischen den beiden extremen Ansichten, von denen die eine die ewige Monotonie des geschichtlichen Werdens behauptet, während sich die andere in Lobeshymnen über den unerschöpflichen, niemals sich wiederholenden Menschengeist ergeht.

Nirgends aber tritt seine Wahrheit so deutlich zu Tage, wie in der Entwicklung unseres Energieprinzips. Zwar scheint von der mythologischen Ausgestaltung dieses Gedankens bis zu seiner mathematischen Präzisierung keine Brücke zu führen, aber der Mythos ist ewig und die gedankliche Verwandtschaft ist ebenso vorhanden, wie die Unterschiede nicht verkennbar sind. Vielleicht würde ein jonischer Denker — man gestatte diese Fiktion — dem man die Darstellung eines Helmholtz vorgelegt hätte, ausrufen: aliter sed idem. Ja, es finden sich noch heute Formulierungen des Energieprinzips, die nicht bloß durch ihren Sinn, sondern durch ihren Ausdruck lebhaft an

die Aussprüche eines Anaxagoras gemahnen. Fast möchte es scheinen, als ob nicht nur der Gedanke, sondern auch sein Sprachgewand keinem Wechsel unterläge — wie ein Seitenstück zum Inhalt des Prinzips. Aber ein aliter existiert doch. Und dieses „in anderer Weise" darf nicht mit Schopenhauer[1]) gering geschätzt werden. Es bedeutet einen wesentlichen Fortschritt und wir können in einem Weiterspinnen des oben angeführten Gleichnisses einsehen, worin er besteht. Wie der Weg immer enger wird, da er zu dem, wenn auch unerreichbar hohen, Gipfel führt, so entspricht dieser räumlichen Verengerung von dem Bergfuß bis zu seiner Spitze — eine immer größere Spezialisierung des Gewußten in der Geschichte. Vom Allgemeinen zum Individuellen, vom Abstrakten zum Konkreten scheint der Weg der Menschheit zu führen, wie dies auch Comte in seiner Lehre behauptet und gezeigt hat.[2]) Man halte den Gedanken eines Lucrez:

„Nec stipata magis fuit umquam materiai
Copia, nec porro majoribus intervallis.
Nam neque adaugescit quicquam neque deperit inde."[3])

— die Berechnung des mechanischen Aequivalents eines Joule entgegen, wonach 427 kg/m der Erhöhung einer kg/Calorie um einen Grad entspricht — und der Sinn der Geschichte scheint aufzugehen! Dasselbe und doch wie anders!

Eine erkenntnistheorethische Untersuchung des Energieprinzips kann unmöglich von diesem Umstand absehen, denn er zeigt deutlich genug die Macht des Prinzips. Und wahrlich, der historische Weg kann auch als „Leitfaden zur Entdeckung der Kategorien" dienen. Man erinnere sich, mit welcher Genugtuung Kant auf die allgemeine Anerkennung und Anwendung der Grundsätze hinwies, in Bezug auf welche er zuerst die quaestio iuris erhob.

[1]) Schopenhauer: Sämtl. Werke II. Bd., S. 515—524. (Reklam.)
[2]) P. Barth: Die Philosophie der Geschichte als Soziologie
[3]) Lucretius: De rerum natura. II. Buch, S. 294—296. Ed. Adolf Brieger:

An das Substanzproblem knüpft sich die Entwicklung des Erhaltungsprinzips und ist mit ihm in einer intimen Verwandtschaft bis auf den heutigen Tag geblieben. Der Substanzbegriff ist nun ein philosophisches Problem par excellence: die Geschichte der Philosophie ist zur Hälfte wenigstens Geschichte dieses Problems. Motive aus allen Gebieten des Wissens, rein sprachliche und psychologische, naturwissenschaftliche und metaphysische verflechten sich in ihn zu einem fast unentwirrbaren Knäuel, so daß es kaum möglich ist, sie alle in ihrer Ausdehnung und Tragweite zu übersehen, ihnen allen gerecht zu werden.[1]) Bald knüpft sich der Begriff der Substanz an den Begriff des Subjektes des kategorischen Urteils (Aristoteles, Kant), bald an das grammatikalische Hauptwort überhaupt (populäre Ansicht) und wieder kommt er zum Vorschein an dem noch heute nicht ganz geklärten Problem der substantiellen Formen (Aristoteles. Leibniz), schließlich wird er eins mit dem Problem der Materie (Descartes) und dem Begriffe des chemischen Stoffes (Sprachgebrauch der Physiker) und nun in unserer Zeit, mit dem der Energie (Ostwald, Mach u. a.). Das Beharrende im Wechsel ist es, was unter diesen Begriffen gesucht wird; das Wechselnde ist das Akzidentelle, das Beharrende das Substantielle. Und das bedingungslos Beständige wird unter der beharrenden Substanz verstanden. Wenn man aber alles Beständige durchforscht, das in der Erfahrung gegeben ist, so wird man immer einsehen, daß nur die Relationen zwischen den Erscheinungen, den Vorgängen, den Eigenschaften, beständig sind, nicht aber irgend welche Dinge. „Es gibt in der Natur keine unveränderlichen Dinge", sagt Mach, „nur ihre Beziehungen sind stabil.[2])

[1]) Diese Gedanken entnehme ich einem Referat „Über das Substanzproblem bei Locke und Leibniz", das ich im Sommersemester 1913 im Phil. Seminar Prof. Windelbands in Heidelberg gehalten habe.

[2]) Mach: Wärmelehre, Seite 523, 2. Aufl.

Auch dies ist ein uralter Gedanke. Von jeher suchte man das Beharrende durch Erscheinungen zu begründen, die selbst keine Einzeldinge, doch ihr gemeinsames Beziehungssubstrat bilden. Als solche Beziehungsbegriffe sind im Laufe der Geschichte hauptsächlich aufgetreten: Gott, Raum und Zeit. Der erste Gedanke wird von Descartes vertreten.[1]) Die Summe der Bewegung ist in der Welt konstant, weil ihr Schöpfer, Gott, unveränderlich ist. Im Handumdrehen wird hier der theologische Gedanke zur kategorialen Funktion einer Kausalgleichung zwischen dem Vorhergehenden und dem ihm Folgenden, zwischen Gott und Welt. Also vollzieht die Kausalfunktion die Objektivierung des Erhaltungsgedankens.[2]) Die Beziehung auf Raum oder Zeit läßt sich populär so ausdrücken: die Energiemenge verharrt, denn wo könnte sie verloren gehen; oder die Energie ist unveränderlich, denn wann könnte sie verschwinden. Der erste Gedanke, der der psychologisch natürlichere ist und gefühlsmäßig die Geltung des Satzes begründet, findet sich buchstäblich bei Lucrez:

„Nec rerum summam commutare ulla potest vis:
Nam neque quo possit genus ullum materiai
Immenso effugere ex omni quicquamst, neque in omne
Unde coorta queat nova vis irrumpere et omnem
Naturam rerum mutare et vertere motus.“ [3])

Die zweite Anschauung liegt dem kantischen Gedankengang zu Grunde. Doch wird hier die Zeit bald zum Raume. Die Zeit ist einsinnig — dies läßt sich weder logisch aus der Evidenz erschließen, weil dem Logischen das Zeitliche fremd ist, noch teleologisch aus irgend welchen Forderungen, sondern weil sie so ist, wird das Weltbild dementsprechend gestaltet —

[1]) Die Prinzipien der Philosophie.

[2]) Auch Joule vertrat einen ähnlichen theologisch gefärbten Gedanken, nur nicht in Bezug auf die Bewegungsquantität, sondern die Bewegungsenergie betreffend (s. Helm, Mach l. c.).

[3]) l. c. II. Buch, S. 303—307.

deshalb wird sie als gerade Linie dargestellt. Hier ist sie also ganz zu einer räumlichen Richtung geworden. Doch bald zeigt sich das Unzulängliche des Bildes. Die Gerade ist umkehrbar, was von der Zeit nicht gilt. Sie muß also unter dem Bilde einer aus dem Unendlichen ins Unendliche sich ausdehnenden Linie gedacht werden. Wir müßten dann aber noch eine andere Linie haben, um an ihr die Größe der Ausdehnung zu bestimmen. Von dieser wird aber dasselbe gelten: die Verräumlichung der Zeit, indem sie unter dem Bilde einer Linie zum Stillstand gebracht wird, verträgt sich weder mit der Veränderlichkeit des Inhalts, von der sie abstrahiert ist, noch mit dem Einsinnigkeitscharakter, der ihr am ursprünglichsten zukommt. Unwandelbarkeit (die des Raumes) und Unumkehrbarkeit (die der Zeit) sind widersprechende Begriffe. Somit fällt der Begriff der absoluten realen Zeit. Die Schwierigkeit wird auch nicht behoben, wenn man sich mit Kant entschließt, die Zeit für eine apriorische Anschauungsform zu erklären. Zunächst darf daran erinnert werden, was in anderem Zusammenhange ausgeführt wurde, daß die Apriorität der Zeit im Widerspruch mit Kants Definition des Apriori (an der wir festhalten) steht; die Zeit ist nicht denknotwendig, insofern es viele unzeitliche Gebilde gibt, und ist überhaupt in ihrem tiefsten Wesen logisch unbegreiflich, daher die Leugnung des Wechsels und der Bewegung bei den Eleaten, daher der Begriff der Zeit als eines auxilium imaginandi; sodann sind die zeitlichen Bestimmungen psychologisch verschieden: wir müssen also von der erlebten Zeit diejenige unterscheiden, nach der in der Geschichte und in der Physik die Vorgänge berechnet werden: von der Zeitlichkeit müssen wir die Zeitform unterscheiden. Diese Zeitform ist, wie gezeigt wurde, eine Mathematisierung der psychologisch erlebten Zeit, ist also nicht im strengsten Sinne apriorisch, sondern durch die apriorischen Begriffe der Mathematik (die Ordnungszahlen in erster Reihe), nach ihrer individuellen Eigenheit objektiviert und so erst idealisiert. Wenn man von diesen

der inneren Beobachtung entnommenen Bestimmungen absieht, so bedeutet die Zeit nichts als die Möglichkeit des Zählens, nicht als wenn sie das Zählen ermöglichte, sondern die Tatsächlichkeit der unendlichen Zählbarkeit, ohne Rücksicht darauf, ob etwas ist, oder nicht. Sie bedeutet dann also nichts anderes als die unbedingte Gültigkeit der mathematischen Zahlengesetze und ihren Charakter als notwendiger Leitprinzipien einer Erfahrung, sofern sie allgemein gültig sein soll. Durch diese Prinzipien wird die empfundene Zeit objektiviert, durch diese Denkfunktionen logisiert die Geometrie den Raum, wie die Physik die materiellen oder Äther-Vorgänge: dort sind es gegebene räumliche Formen (nach ihrer bereits erfolgten Isolierung von allen anderen Inhalten der Wahrnehmung, gemäß der Kategorie des bestimmten Stellenwertes) hier Bewegungen, auf die die nämlichen Kategorien zum Zwecke ihrer Objektivierung angewandt werden.[1]) Aus diesen Gründen darf die Substanzialität der Energie nicht auf Raum und Zeit zurückgeführt werden, als erlange sie durch sie ihre Objektivität, sondern sie muß vielmehr in Beziehung zu denjenigen Denkfunktionen gebracht werden, denen auch die mathematisierte Zeit und der mathematisierte Raum ihre Festigkeit verdanken. Diese kategorialen Denkfunktionen bilden aber in ihrem widerspruchlosen Zusammenschluß den Begriff der Gesetzlichkeit; die Substanz ist also nach ihrer rein formalen Seite betrachtet identisch mit der Durchführung sämtlicher Kategorien. Insofern können wir die Energie als eine Substanz oder vielmehr, da sie eine konstante Beziehung a l l e r uns durch die Wahrnehmung angezeigten Erscheinungen ausdrückt, als d i e Substanz bezeichnen.

Es gibt mit anderen Worten Substanzen und es gibt eine Substanz; jene sind die durch die Kategorie des bestimmten Stellenwertes isolierten Kräfte, wie Wärme, Elektrizität usw.,

[1]) Von seiner Mechanik sagt Lagrange, sie sei nur mittels algebraischer Methoden erbaut. (Mécanique, Avertissement.)

oder Stoffe, wie die chemischen Elemente. Ihre Substanzialität ist jedoch nur eine relative, da sowohl die einzelnen Energieen, wie auch die Elemente sich nachweisbar verwandeln können (s. S. 131), in ihren ursprünglichen Qualitäten also nicht beharren. Sie läßt sich durch die Summe (Summationsgleichung) ausdrücken: $a + b + c$; und in der Summe wird nach dem mathematischen Axiom jeder Summand erhalten; sie fußt also auch auf der Kategorie der Zusammensetzung.[1]) Die Wahrnehmungsinhalte, wie die Denkfunktionen sind jedoch damit noch nicht erschöpft. Die Verwandelbarkeit, d. h. die Wahrnehmung des Anderswerdens gewisser Qualitäten (an Stelle der thermischen tritt z. B. die elektrische Energie) nötigt zur Heranziehung der Kategorien der Abhängigkeit und der Stetigkeit. Die universelle Substanz wird also durch eine Kausalgleichung dargestellt werden können, durch eine Kausalgleichung, welche vom Stetigkeitsprinzip durchtränkt ist (Differenzialgleichungen) und als numerisch bestimmte, auch die Kategorie des bestimmten Stellenwertes und der Zusammensetzung in sich vereinigt. Nun haben wir zwei Formen von zwei Kausalgleichungen unterschieden: einfache und substantielle. In die einfache Kausalgleichung gehen solche Naturerscheinungen ein, die wir als sekundäre bezeichnet haben; zwar stellen auch diese Kausalgleichungen eine konstante Beziehung zwischen Ursache und Wirkung dar, aber ihre Glieder sind nicht von universeller Natur, d. h. kommen nicht allen Er-

[1]) Die methodische Seite des Prinzips der Konstanz der chemischen Maße hebt trefflich Hollemann hervor: (Lehrbuch der anorganischen Chemie, 12. Auflage, S. 18). „Wir lernen die Richtigkeit unserer Versuchsresultate kennen, indem wir feststellen, wie weit sie mit dem (obengenannten) Prinzip übereinstimmen.“ Denn „so oft auch die Versuche wiederholt werden mögen, man wird stets kleine Abweichungen wahrnehmen . . . welche wir aus der Unvollkommenheit unserer Versuche erklären; wir betrachten dieselben als um so besser gelungen, je näher wir der Gleichheit der Gewichtsmenge vor und nach dem Versuche kommen. Eine absolute Gleichheit zu erzielen, gelingt jedoch nicht“.

scheinungen gleich zu. Das Verhältnis von Impuls und Geschwindigkeit ist ein solches. Aber auch eine Kausalgleichung zwischen Arbeit und Wärme oder etwa zwischen einem elektrischen und magnetischen Vorgang gehört hierher, wenn man auf ihre gegenseitigen Beziehungen nicht achtet.

Also sind auch die Materie und der Äther ebenso wie die einzelnen Kräfte (Wärme, Licht usw.) oder die chemischen Atome bloß relative oder partielle Substanzen. Erst die energetische Kausalgleichung drückt universelle Beziehungen aus, denn die Energie ist allein eine — unserer Begriffsbestimmung nach — primäre, d. h. universelle Eigenschaft der Naturerscheinungen, in deren Sprache alle Vorgänge übersetzt werden können. Um die oben angeführten Beispiele zu erläutern: Die Beziehung von Wärme zur Arbeit (und augenblicklich sehen wir davon ab, daß Wärme nur unvollständig in Arbeit rückverwandelbar ist) ist ein einfaches Kausalverhältnis, so lange es nicht bewußt wird, daß auch alle anderen Naturvorgänge auf Arbeit bezogen werden können; sie wird jedoch zu einer substantiellen, sobald mitgedacht wird, daß auch die chemische Energie und so auch die elektrische, optische usw. in mechanischen Arbeitseinheiten ausdrückbar sind. Darin also, daß alle uns bekannten Naturvorgänge auf die Energie beziehbar sind, liegt der substantielle Charakter der energetischen Kausalgleichungen enthalten.

Zwei Momente wollen wir nun ins Auge fassen. Erstens wollen wir das Verhältnis von Kausalität zur Substanz näher präzisieren, und zweitens die Substantialität der Energie (d. h. ihre Fähigkeit als Bezugseinheit aller Naturerscheinungen zu dienen) unter dem Gesichtswinkel zu betrachten, daß ja ihre Erhaltung aus angeführten Gründen nur teilweise objektiv-empirisch bewiesen werden kann, teilweise aber ein ideales Forschungsprinzip ist. Im Verlaufe dieser Erörterungen wird sich auch eine Antwort auf die mögliche Frage finden, warum hier die Substanz, der herrschenden Ansicht entgegen, nicht als besondere Kategorie ausgezeichnet worden ist.

„Im Kausalgesetz ist das Substanzgesetz enthalten" sagt Riehl;[1]) auf welche Weise, ist hier zu zeigen versucht worden. Auf diese Weise nämlich, daß das Substanzgesetz mit dem Kausalprinzip zwar nicht zusammenfällt, aber doch eine spezielle Form des letzten bildet. Das Kausalprinzip wird substantiell (im Sinne von universeller, nicht relativer Substantialität) wenn es von der Energie handelt, welch' letzte diejenige empirische Erscheinung ist, die als primäre, d. h. universelle, die Einheit und Identität der Natur begründet. Jedoch sowohl von der Energie, wie von jeder anderen Naturgröße gilt, daß jede ihrer Veränderungen in eine funktionelle Beziehung zu einer unabhängig Variablen gebracht werden muß. Darin besteht ihre Unterordnung unter das kategoriale Prinzip der Kausalität, denn die Naturkausalität besagt die Proportionalität oder Gleichheit der Glieder, d. h. Konstanz, Erhaltung der Größe. Die naturangewandten Kausalgleichungen sind übrigens immer numerisch bestimmt und in der Form von Differenzialgleichungen ausdrückbar: sie vereinigen in sich also sämtliche Kategorien; alle Kategorien aber können aufgefaßt werden als Formen eines Urgedankens, der das Grundwesen des Denkens ausmacht und dessen Name lautet: Erhaltung, Identität. Wenn also die Erhaltung das Wesen der Substanz ausmacht, so ist dieser Begriff viel zu weit, und wenn die Energie die beharrende Substanz der Natur ist, so ist der Begriff in dieser Bestimmtheit zu speziell, um als Kategorie bezeichnet zu werden. Da jedoch die Erhaltung der Energie nur teilweise aufgezeigt werden kann, teilweise aber ein

[1]) Robert Mayers Entdeckung und Beweis des Energieprinzips. Festschrift für Sigwart, S. 173. — Riehls Ansichten scheinen in diesem Punkte eine Wandlung erfahren zu haben. Im „Philosophischen Kritizismus" und zwar sowohl im historischen, wie im systematischen Teile läßt er noch die Substanz als gleichwertige Kategorie neben der Kausalität gelten.

methodisches Prinzip ist, so ist auch ihre Substantialität nur zum Teil durchgeführt, zum Teil bloß eine postulierte.

Die methodische Natur des Galileischen Prinzips (Seite 73), die verschiedenen Ergebnisse der Messungen des mechanischen Äquivalents (Seite 76), die Aussprüche von Planck (Seite 91) und Rubner (Seite 92) und schließlich den zweiten Hauptsatz (Seite 86) haben wir im Laufe der Arbeit als Belege für diese Auffassung angeführt. Erst auf dieser Stufe können wir uns zu einer Formulierung des Energieprinzips erheben, wie sie etwa Helmholtz gegeben hat und wonach „die Summe der vorhandenen Kräfte (Helmholtz unterscheidet lebendige und Spannkräfte) konstant ist“;[1]) diese Formel ist aber nicht mehr eine empirisch aufweisbare, sondern eine ideale Annahme, die in keiner Erfahrung bestätigt werden kann.

Zusammenfassend kann gesagt werden: Vom Standpunkte der reinen Logik (der Logik jeder überhaupt möglichen Natur) betrachtet, ist die Erhaltung der Energie ein bloßes Beispiel des allgemeinen Gedankens der Erhaltung, als deren andere Beispiele, die Erhaltung des Schwerpunktes, der Geschwindigkeit und der Maße im Kapitel über die Mechanik dargestellt wurden. Vom Standpunkte der Naturlogik (der Logik der durch die Wahrnehmung angezeigten, d. h. der wirklichen Natur) jedoch ist ihre Eigenart damit noch nicht getroffen. Die qualitative Besonderheit stempelt sie zum Ausdruck der Natureinheit. Die Objektivierung dieser Wahrnehmung, d. h. die Entkleidung von ihrem naturhaften und subjektiven Charakter vollzieht sich an der Hand der genannten Kategorie. Die Durchführung dieses Gedankens stößt jedoch auf Schwierigkeiten, die namentlich von dem unlösbaren Zusammenhang mancher Erscheinungen und der im zweiten Hauptsatze ausgedrückten Eigentümlichkeit des Naturgeschehens herrühren.

Da jedoch der Gedanke der Erhaltung das Wesen des Denkens ausmacht, was sich sowohl aus unserer logischen

[1]) Wissenschaftliche Abhandlungen. 1. Band, S. 25.

Analyse, wie aus der historischen Betrachtung ergibt, so wird die Erhaltung der Energie trotzdem behauptet, und wenn nicht mehr als aufzeigbares Grundgesetz der Wirklichkeit, so doch als Grundprinzip aller Erforschung dieser Wirklichkeit. So ist die Erhaltung der Energie, erstens ein logisches Beispiel des allgemeinen, für jede mögliche Natur giltigen Gedankens der Erhaltung, zweitens eine empirische Haupttatsache der wirklichen Natur (insofern als ihre Einheit durch sie zum Ausdruck kommt), und drittens eine methodische Idee zur Erforschung der Wirklichkeit. Ein Beispiel ist sie, eine Tatsache und eine Idee.

Lebenslauf.

Ich, Jonas Borak, wurde am 7. Januar 1893 zu Morszyn in Österreich geboren und bin mosaischer Konfession. Die Volksschule und das Gymnasium besuchte ich in Stryj. Im Jahre 1911 bezog ich die Universität und studierte in Leipzig, Heidelberg und Berlin. Ich beschäftigte mich mit Philosophie, Physik und Geschichte.

Allen meinen Lehrern weiß ich aufrichtigen Dank. Insbesondere möchte ich den Herren Professoren Barth und Volkelt für die Anregungen und das stets freundliche Entgegenkommen meinen herzlichsten Dank aussprechen.